

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА

С. С. Душкин

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по курсу

«ВОДОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ И СООРУЖЕНИЯ»

*(для студентов 2 и 3 курсов дневной и заочной форм обучения направления
подготовки 6.060103 – Гидротехника (водные ресурсы))*

Харьков
ХНУГХ им. А. Н. Бекетова
2017

Душкин С. С. Конспект лекций по курсу «Водопроводные системы и сооружения» для студентов 2 и 3 курсов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 6.060103 – Гидротехника (водные ресурсы) / С. С. Душкин ; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУХГ им. А. Н. Бекетова, 2017. – 115 с.

Автор С. С. Душкин

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. А. Ткачев

*Рекомендовано кафедрой водоснабжения, водоотведения и очистки вод,
протокол № 1 от 30.08.2016 г.*

© С. С. Душкин, 2017

© ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ТЕМА 1 Водохозяйственный баланс, составление водохозяйственного баланса.....	8
1.1 Толкование понятия «Водохозяйственный баланс».....	8
1.2 Составление водохозяйственного баланса.....	9
Контрольные вопросы.....	12
ТЕМА 2 Характеристика систем водоснабжения как комплекса инженерных сооружений, классификация систем водоснабжения.....	13
2.1 Основные положения.....	13
2.2 Основные схемы водоснабжения.....	15
2.3 Схемы водоснабжения промышленных предприятий.....	18
2.4 Классификация систем водоснабжения.....	22
Контрольные вопросы.....	25
ТЕМА 3 Источники водоснабжения, их характеристика. Зоны санитарной охраны (ЗСО), предназначение их.....	26
3.1 Источники водоснабжения.....	26
3.2 Водные ресурсы Украины.....	28
3.2.1 Поверхностные воды.....	27
3.2.2 Подземные воды.....	28
3.3 Поверхностные источники водоснабжения.....	28
3.3.1 Реки.....	29
3.3.1.1 Ледовые явления.....	30
3.3.1.2 Речные наносы.....	32
3.3.1.3 Русловые деформации.....	33
3.3.2 Озера и водохранилища.....	33
3.4 Подземные источники водоснабжения.....	34
3.5 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения, их назначение.....	37
3.5.1 Назначение поясов зоны санитарной охраны.....	38
3.5.2 ЗСО подземных источников водоснабжения.....	38
3.5.3 ЗСО поверхностных источников водоснабжения.....	39
3.5.4 Санитарная охрана водопроводных сооружений и водоводов...	41
3.5.5 Основные водоохранные мероприятия на территории ЗСО.....	42
Контрольные вопросы.....	44
ТЕМА 4 Сооружения для забора воды, конструктивные особенности и их типы.....	45
4.1 Поверхностные водозаборы.....	45
4.2 Подземные водозаборы.....	46

Контрольные вопросы.....	51
ТЕМА 5 Водоснабжение населенных пунктов. Построение суммарного графика водоснабжения и определение расчетных расходов водопровода, который проектируется. Режим работы водопроводных сооружений.....	52
5.1 Водоснабжение населенных пунктов. Построение суммарного графика водоснабжения и определение расчетных расходов водопровода, который проектируется.....	52
5.2 Режим работы водопроводных сооружений.....	55
Контрольные вопросы.....	57
ТЕМА 6 Водопроводная сеть, ее трассировка. Зонные системы водоснабжения.....	57
6.1 Водопроводная сеть, ее трассировка.....	57
6.2 Зонные системы водоснабжения.....	62
Контрольные вопросы.....	66
ТЕМА 7 Гидравлический расчет водопроводных сетей.....	67
7.1 Предварительное потокораспределение в кольцевых сетях и требования к их надежности.....	69
7.2 Теоретические основы поверочных гидравлических расчетов водопроводных сетей.....	71
7.3 Теория и методы внутренней увязки кольцевых сетей.....	72
7.4 Пример гидравлического расчета кольцевой водопроводной сети методом Лобачева–Кросса.....	73
Контрольные вопросы.....	76
ТЕМА 8 Оборудование водопроводной сети. Арматура и сооружения на сети.....	78
8.1 Трубы водопроводной сети.....	81
8.2 Номенклатура фасонных чугунных частей.....	83
8.3 Арматура на водопроводной сети.....	85
8.3.1 Запорно-регулирующая арматура.....	86
8.3.2 Предохранительная арматура.....	87
8.3.3 Водоразборная арматура.....	89
Контрольные вопросы.....	91
ТЕМА 9 Регулирующие и запасные емкости.....	91
9.1 Водонапорные башни.....	91
9.2 Резервуары.....	94
9.3 Гидропневматические установки.....	95
Контрольные вопросы.....	96
ТЕМА 10 Сооружения для транспортирования воды. Особенности гидравлического расчета открытых каналов.....	96

10.1 Транспортировка воды. Основные типы транспортирующих сооружений.....	96
10.2 Безнапорные водопроводные каналы.....	99
10.3 Напорные гравитационные водоводы.....	102
10.4 Особенности гидравлического расчета открытых каналов.....	103
Контрольные вопросы.....	105
ТЕМА 11 Особенности обустройства дворовой и внутриквартальной сети.	
Принципы технико-экономического расчета водопроводной сети.....	105
11.1 Особенности обустройства дворовой и внутриквартальной сети.....	105
11.2 Принципы технико-экономического расчета водопроводных сетей.....	109
11.2.1 Принципы технико-экономического расчета системы подачи и распределения воды.....	109
11.2.2 Определение экономически выгодных диаметров труб напорных водоводов.....	111
Контрольные вопросы.....	112
ТЕМА 12 Достижения науки и техники в области развития, проектирования и обустройства водопроводных сетей.....	112
Контрольные вопросы.....	114
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	115

ВВЕДЕНИЕ

Развитие цивилизации неразрывно связано с использованием воды, потребление которой происходит во все расширяющихся масштабах. Обеспечение населения водой, отвечающей определенным санитарно-гигиеническим требованиям, является одной из основных задач водоснабжения.

В настоящее время многочисленные потребители предъявляют к воде требования, различные как в количественном, так и в качественном отношении. Рост водопотребления во всем мире привел к количественному и качественному дефициту воды. Поэтому в современных условиях требуется комплексный подход к решению задач водоснабжения, учитывающий интересы различных групп потребителей воды, рациональное ее использование, предусматривающий разработку мероприятий по охране источников от загрязнения и истощения, совершенствование систем водоснабжения, использование научно обоснованных норм водопотребления, разработку маловодных и безводных технологических процессов, совершенствование водного законодательства и др.

Использование достижений научно-технического прогресса позволит интенсифицировать работу систем и сооружений водоснабжения, сократить строительные затраты и эксплуатационные расходы, повысить производительность труда и экономить материальные и трудовые ресурсы. Применение более совершенных сооружений водного хозяйства будет также способствовать защите окружающей среды от загрязнений и рациональному использованию природных вод.

Широкое внедрение вычислительной техники позволяет решать задачи проектирования и эксплуатации на качественно новом уровне, обеспечивающем требования экономичности и надежности. К таким задачам следует отнести гидравлические расчеты систем подачи и распределения воды, расчеты по защите трубопроводов от гидравлических ударов, выбор оптимальных режимов работы как отдельных элементов, так и всей системы в целом.

При изучении дисциплины главное внимание уделяется формированию у будущих специалистов знаний, связанных с решением вопросов устройства, расчета, проектирования и эксплуатации сетей, систем и сооружений водоснабжения для принятия верных проектных и технологических решений, с учетом экономической составляющей, для успешного исполнения в будущем своих функциональных обязанностей.

Основными задачами, которые должны быть решены в процессе изучения дисциплины, является овладение студентами следующими вопросами и

навыками:

- изучение общей характеристики системы водоснабжения и ее составных элементов, роли основных водопроводных сооружений;
- определение расчетного объема водопотребления, построение суммарного графика водопотребления;
- расчет водопроводной сети и ее оборудования;
- увязка кольцевых систем водоснабжения;
- гидравлический расчет систем водоснабжения с контррезервуаром; методы расчета систем подачи и распределения воды с учетом совместной работы водопотребителей и нефиксированного отбора;

Предметом изучения дисциплины являются теоретические аспекты и вопросы назначения и принципов работы, расчета и проектирования сетей систем водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, а также вопросы расчета систем подачи и распределения воды.

ТЕМА 1 Водохозяйственный баланс, составление водохозяйственного баланса

1.1 Толкование понятия «Водохозяйственный баланс»

Водохозяйственный баланс (ВХБ) – количественное соотношение между водными ресурсами и потребностями воды в пределах какого-либо экономического района или физико-географического региона за определенный период с учетом хозяйств, деятельности человека. Водохозяйственный баланс обычно составляют для условий среднего по водности и маловодного (обеспеченностью до 95%) года.

В современном хозяйстве главными потребителями воды являются промышленность, сельское хозяйство и коммунально-бытовые службы. Они забирают из естественных и искусственных водоемов для своих нужд определенные объемы воды, которые составляют *водозабор*.

Неоднократное использование одного и того же объема воды сокращает водозабор, но заставляет ввести в *водохозяйственный баланс (ВХБ)* еще одну категорию – *водопотребление* – общий объем воды, используемый данной отраслью хозяйства за определенный отрезок времени.

В сфере коммунального хозяйства водопотребление и водозабор равны между собой, потому что оборотное водоснабжение в данной отрасли на современном уровне практически не осуществляется. В промышленности водозабор оказывается намного ниже водопотребления за счет применения замкнутых циклов водоснабжения, когда из источников вода забирается лишь для компенсации безвозвратных потерь.

В сельском хозяйстве водопотребление тоже может количественно превышать водозабор из источников, поскольку для орошения часто используются органические стоки городских коммунальных систем или частично очищенные отработанные воды некоторых промышленных предприятий.

В таких условиях достаточно остро проявляется дефицит водозапаса, особенно в странах с сезонным стоком; чтобы снизить его остроту применяются разнообразные водосберегающие технологии и многократные водопользования. В результате объем водозабора на нужды энергетических и промышленных объектов составляет менее 50% общего промышленного водопользования.

Водозабор не только количественно меняет объемы стока, но и трансформирует его режим. Неблагоприятные естественные свойства стока – неравномерность по времени, значительные расходы на испарение или инфильтрацию – преодолеваются гидротехническими методами. Для регулирования проходящих по речным руслам паводковых или талых вод

создаются водохранилища сезонного или многолетнего регулирования стока, в которых накапливаются значительные объемы вод, ощутимо увеличивая водозапасы местности.

1.2 Составление водохозяйственного баланса

В общем виде состояние баланса по поверхностным и подземным водам имеет вид:

$$Q_1 + Q_2 \pm Q_3 - Q_4 + Q_5 + Q_6 - Q_7 - Q_8 - T + G \geq 0 \quad (1.1)$$

где Q_1 – объем поверхностных вод, поступающих в источник;

Q_2 – объем поверхностных вод, формирующихся на участке водозабора;

$\pm Q_3$ – срабатывание (+) или наполнение (–) прудов и водохранилищ;

Q_4 – отбор поверхностных вод на участке водозабора;

Q_5 – поступление воды на участок извне по искусственным каналам или трубопроводам;

Q_6 – расход возвратных, сточных и др. вод;

Q_7 – потери в водохранилищах и прудах в результате испарения (5–8% от расхода Q_3);

Q_8 – переброска воды за пределы участка водозабора;

T – транзитный сток в конце участка водозабора;

G – эксплуатационные запасы подземных вод на участке водозабора.

Если ВХБ в результате расчета получился больше 0, т.е. положительный баланс, это говорит о том, что имеющиеся водные ресурсы в большей или меньшей степени удовлетворяют потребностям водопотребителей. В случае отрицательного водного баланса необходимо предусмотреть мероприятия по сокращению потребления воды или по увеличению запасов данного источника (например, за счет использования подземных вод, переброски стоков, сокращения водопотребления за счет оборотного водоснабжения и других мероприятий).

Для составления водных балансов и планов эксплуатации поверхностных источников – рек и водохранилищ, а также оперативного регулирования их режима составляют долгосрочные и краткосрочные прогнозы.

Для источников, используемых в целях водоснабжения, делают следующие эксплуатационные прогнозы:

- стока и уровней воды;
- срока, величины и интенсивности весеннего паводка;
- сроков ледостава и вскрытия рек;
- качества воды в реке или водохранилище;
- цветения воды.

Эксплуатационные прогнозы должны содержать следующие вероятные, а также гарантийные величины: гидрологические элементы и даты явлений в условиях намечаемого водохозяйственного плана использования реки или водохранилища; средний вероятный, а также наибольший и наименьший возможные объемы паводка и расходов реки (количество воды, протекающей в единицу времени); по качественным показателям – общий солевой состав (плотный остаток) и жесткость воды.

Прогнозы естественного притока воды и ее качества составляют на каждый месяц.

Прогноз стока и уровней воды

Прогноз стока по методу аналогии и связи основывают на оценке хода предшествующего режима реки по характерным факторам, создающим этот режим: осадкам, температуре воздуха, при которой происходит испарение, расходам и уровням воды и пр.

$$W_{cp} = \frac{MF \cdot 31536000}{1000} \text{ м}^3 \quad (1.2)$$

где W_{cp} – средний годовой сток;

M – модуль стока с 1 км^2 водосборной площади, л/сек;

F – площадь водосбора реки, км^2 .

Прогноз срока, величины и интенсивности весеннего половодья

Прогнозы срока, величины и интенсивности весеннего стока (половодья) обычно составляют сотрудники гидрометеорологической службы.

Пользуясь прогнозом гидрометеорологической службы по величине стока x , мм, столба воды, определяют предполагаемый суммарный объем стока или приток воды в водохранилище за период весеннего половодья:

$$W_{вес} = xF \cdot 1000 \text{ м}^3 \quad (1.3)$$

где F – площадь водосбора водохранилища, км^2 .

Сроки ледостава и вскрытия рек

Прогноз ожидаемых сроков появления шуги, осеннего ледохода на реках и ледостава, так же как и сроки вскрытия рек, составляется гидрометеорологической службой.

Количественный и качественный балансы водохранилища

Количественный баланс можно выразить следующей формулой:

$$W_e + W_{cm} + W_n = V + W_z + W_{\phi} + W_{исп} + W_{сбр} \quad (1.4)$$

где V – объем воды в водохранилище в любое время;

W_e – предполагаемый естественный приток воды;

W_{cm} – сточные воды, поступающие от предприятий и городов;

W_n – попуски воды из расположенных выше водохранилищ;

W_z – расход (забор) воды на нужды водоснабжения;

W_{ϕ} – потери воды из водохранилища фильтрацией;

$W_{исп}$ – потери воды из водохранилища испарением;

$W_{сбp}$ – сброс воды в случае ее избытка или для пополнения расположенного ниже водохранилища.

Так как в формуле (1.4) $V=const$, формулу можно записать в виде:

$$\Sigma W_{np} = V + \Sigma W_{yб} \quad (1.5)$$

где ΣW_{np} – приход воды;

$\Sigma W_{yб}$ – расход воды;

Пользуясь лабораторными анализами состава притекающих в водохранилище и убывающих из него вод, можно определить качество воды в водохранилище (солевой состав) исходя из баланса:

$$W_e C_e + W_{cm} C_{cm} + W_n C_n = (V + W_z + W_{\phi} + W_{исп} + W_{сбp}) C \quad (1.6)$$

где C_e – сухой остаток (общий солевой состав) притекающей воды;

C_{cm} – то же, сточной воды, поступающей от предприятий;

C_n – то же, воды поступающей из вышерасположенных водохранилищ;

C – общий сухой остаток в воде водохранилища.

Этот баланс показывает, что количество солей, притекающих с водой в водохранилище, расходуется вместе с водой, соли же испарившейся воды остаются в водохранилище и все больше повышают сухой остаток (солевой состав) воды водохранилища.

Качество воды в водохранилище определяют из уравнения

$$VC = \Sigma W_{np} C_{np} - \Sigma W_{yб} C_{yб} \quad (1.7)$$

где V – объем воды, $м^3$;

C – сухой остаток (общий солевой состав), $г/м^3$, или количество солей, $т$

$$g = g_{np} - g_{yб} \quad (1.8)$$

Зная количество солей g , содержащихся в данном объеме воды V , можно вычислить

$$C = \frac{g}{V} \text{ г/м}^3 \text{ (мг/дм}^3\text{)} \quad (1.9)$$

Сухой остаток в свою очередь можно разложить с известным приближением на ряд составляющих: жесткость воды общую $Ж_{общ} = m_1 C$ и щелочность общую $Щ_{общ} = m_2 C$, хлориды $Cl = m_3 C$, сульфаты $SO_3^{2-} = m_4 C$ и т.д.

Переводный коэффициент m – величина для каждого водохранилища почти постоянная, устанавливаемая на основании лабораторных анализов воды.

$$C_{вdx} = f(K, C_{np}) \quad (1.10)$$

где $C_{вdx}$ – искомая концентрация солей в воде водохранилища, $г/см^3$;

C_{np} – среднегодовая концентрация солей в воде притока за гидрологический год – от начала подъема уровня воды в водохранилище, от

начала паводка до конца спада в последующую межень (с учетом остатка солей в водохранилище перед паводком);

K – коэффициент относительной емкости водохранилища, $K = \frac{V_1}{V_2}$, где

V_1 – объем воды в водохранилище на день определения концентрации солей в нем, V_2 – максимальный объем воды в водохранилище за расчетный гидрологический год.

Очевидно, внутриводоемные гидрохимические процессы более сложные, чем указанные выше. Однако для практических целей расчет количественного и качественного баланса водохранилища на один гидрологический год является достаточным по приведенной выше методике без особого учета внутриводоемных процессов.

Прогноз цветения водоема

Для прогнозирования цветения водоема используют метод биологической производительности воды, который позволяет установить за 5–8 дней возможность массового развития фитопланктона в водоеме. Для этого из контролируемого водоема забирают пробу воды батометром или каким-либо стеклянным сосудом. Воду разливают в колбочки по 25 мл.

В исследуемой воде подсчитывают количество планктонных организмов. Колбы помещают в термолюмностат (шкаф с регулированием температуры и освещения). Через каждые 3–5 дней воду подвергают биологическому анализу. Увеличение числа организмов показывает, что в ближайшие дни (примерно через 4–8 дней) наступит цветение водоема; результаты, полученные через 8–10 дней, показывают, насколько продолжительным будет это явление.

По результатам исследования назначают время профилактической обработки водохранилища медным купоросом и устанавливают его ориентировочную дозу.

Прогноз ВХБ составляют из расчета развития региона на 20–25 лет. В случае дефицита воды в регионе следует привлекать отдаленные источники водоснабжения, например, подача воды в Донбасс по каналу Днепр-Донбасс.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ВХБ, для чего его рассчитывают?
2. Как составляется баланс поверхностных и подземных вод?
3. Расскажите про прогноз стока и уровня воды.
4. Расскажите про прогноз весеннего половодья.
5. Расскажите про упрощенный расчет минерального состава водохранилища на 1 гидрогеологический год.

ТЕМА 2 Характеристика систем водоснабжения как комплекса инженерных сооружений, классификация систем водоснабжения

2.1 Основные положения

Водоснабжение – это комплекс взаимосвязанных инженерных сооружений, предназначенных для забора, очистки и транспортировки потребителям воды заданного качества в требуемых количествах и под необходимым напором.

Система водоснабжения – это комплекс сооружений для обеспечения определенной (данной) группы потребителей (данного объекта) водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды (перерывы или снижение подачи воды, ухудшение ее качества в недопустимых пределах).

Задачи системы водоснабжения

Получение воды из природного источника, улучшение ее качества в соответствии с требованиями потребителей, транспортирование на территорию объекта и подача ко всем заданным точкам отбора; при этом в точках отбора должны быть обеспечены заданные давления в трубах водопроводной сети.

Основные элементы системы водоснабжения

Система водоснабжения (населенного места или промышленного предприятия) должна обеспечивать получение воды из природных источников, ее очистку, если это вызывается требованиями потребителей, и подачу к местам потребления. Для выполнения этих задач служат следующие сооружения, входящие в состав системы водоснабжения (рис 2.1):

- водозаборные сооружения, при помощи которых осуществляется прием воды из природных источников,
- водоподъемные сооружения, то есть насосные станции, подающие воду к местам ее очистки, хранения или потребления,
- сооружения для очистки воды,
- водоводы и водопроводные сети, служащие для транспортирования и подачи воды к местам ее потребления,
- башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей в системе водоснабжения.

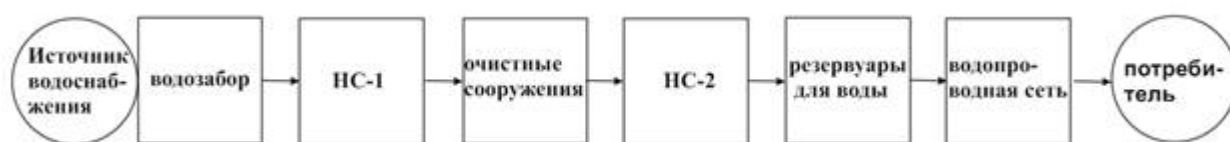


Рисунок 2.1– Основные элементы системы водоснабжения

В зависимости от местных природных условий и характера потребления воды, а также в зависимости от экономических соображений схема водоснабжения и составляющие ее элементы могут меняться весьма сильно. Большое влияние на схему водопровода оказывает принятый источник водоснабжения: его характер, мощность, качество воды в нем, расстояние от него до снабжаемого водой объекта и т.п. Иногда для одного объекта используется несколько природных источников.

Водоводы и водопроводные сети совместно с насосными станциями и регулирующими емкостями образуют *системы подачи и распределения воды*.

Обоснование выбора системы водоснабжения для различных категорий потребителей

На территории большинства реальных объектов (города, поселки, промпредприятия) существуют одновременно различные категории водопотребителей, предъявляющие различные требования к качеству и количеству потребляемой воды. В зависимости от назначения объекта и требований к его водоснабжению, а также экономических условий может применяться единый многоцелевой водопровод или устроены отдельные самостоятельные водопроводы. В городах обычно устраивают единый водопровод, который подает воду населению, а также для хозяйственно-питьевых нужд промпредприятий, расположенных в черте города, и для технических нужд предприятий, для которых требуется вода питьевого качества, например, пищевой промышленности.

Для тех предприятий, которые являются крупными потребителями воды и могут использовать малоочищенную или неочищенную воду, устраивают самостоятельные, отдельные от городского водопровода, сети. Иногда такие водопроводы устраивают для групп предприятий находящихся в одном районе города.

Другим характерным объектом водоснабжения являются крупные промпредприятия расположенные вне города. При проектировании такого предприятия необходимо учитывать расходы воды на производственные нужды, хозяйственно-бытовые нужды рабочих и пожаротушение. Поэтому обычно на предприятии устраивают отдельные системы подачи воды с разной степенью очистки. Вопросы объединения противопожарного водопровода с

хозяйственно-бытовым или производственным решаются на основе технико-экономических расчетов. На некоторых предприятиях приходится устраивать отдельные противопожарные водопроводы.

2.2 Основные схемы водоснабжения

Схема водоснабжения – взаимное размещение сооружений системы водоснабжения, которое изображено графически. На выбор схемы водоснабжения влияют следующие факторы: тип выбранного источника водоснабжения и качество воды в нем, вид потребителей и их требования к качеству подаваемой воды, рельеф местности, положение потребителей на плене, размеры водопотребления, производительность источника водоснабжения и его отдаленность от потребителей, наличие помех для строительства сооружений, санитарные, местные и экологические условия.

Состав сооружений назначают в первую очередь в зависимости от мутности и цветности воды источника и производительности очистных сооружений. Чаще всего водоочистную станцию располагают в непосредственной близости к источнику водоснабжения. Очищенную воду собирают в резервуарах чистой воды.

Самой распространенной для небольших населенных пунктов является схема с забором подземной воды питьевого качества (рис. 2.2). Воду забирают из водоносного пласта с помощью скважины и подают в водонапорную башню. Как только бак башни наполнится, насос в скважине автоматически или вручную отключается и вода в башню не поступает. Вода в сеть поступает из башни, которая обеспечивает необходимые давление и расход. Когда уровень воды в баке башни достигнет минимальной отметки насос в скважине снова включается и вода наполняет бак. Водозаборные скважины и башню обычно размещают непосредственно у сети. Именно такая схема предполагается для первой очереди строительства системы водоснабжения.

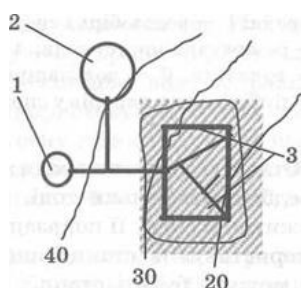


Рисунок 2.2 – Схема водоснабжения с забором воды питьевого качества из подземного источника:

1 – скважина; 2 – водонапорная башня; 3 – водонапорная сеть

Станцию очистки воды между скважинами и резервуарами предусматривают только тогда, когда качество воды не удовлетворяет потребителей. Чаще всего используют станции обезжелезивания и обеззараживания воды, но могут быть и станции умягчения воды, опреснения и тому подобное. Резервуары чистой воды аккумулируют большие объемы воды, которые нужны для регулирования неравномерности подачи ее в сеть и равномерности подачи в резервуар или наоборот, для забора воды из них на тушение пожаров и собственные нужды водопровода. Из резервуаров воду забирают с помощью насосной станции второго подъема и подают ее под необходимым давлением в водоводы. Водоводы транспортируют воду в водопроводную сеть, которая непосредственно распределяет ее между потребителями.

Водопроводная схема крупного населенного пункта наиболее часто включает в себя следующие элементы (рис. 2.3 и 2.4):

1. Поверхностный водоем (река, озеро, водохранилище, пруд и т.д.), используемый в качестве источника водоснабжения;
2. Водозаборное сооружение, предназначенное для забора воды из водоёма;
3. Насосная станция первого подъёма (НС-1), перекачивает воду из водоёма на сооружения очистки воды;
4. Водоводы транспортировки воды водоема от НС-1 на очистные сооружения;
5. Сооружения по подготовке воды питьевого качества (ОС);
6. Резервуары чистой воды (РЧВ) – предназначены для хранения регулируемого объема воды, противопожарного запаса и технологического объема воды на собственные нужды очистных сооружений;
7. Насосная станция второго подъёма (НС-2) – предназначена для перекачки питьевой воды от очистных сооружений в распределительную сеть населенного пункта;
8. Водоводы транспортировки воды от НС-2 в распределительную сеть населенного пункта;
9. Граница селитебной зоны населенного пункта;
10. Кольцевая распределительная водопроводная сеть населенного пункта – предназначена для равномерного распределения воды по площади населенного города;
11. Водонапорная башня (ВБ) – предназначена для хранения регулируемого объема воды при различиях в подаче НС-2 и водопотреблении населенным пунктом;
12. Узловые колодцы кольцевой сети для размещения запорной арматуры;

13. Промышленное предприятие (ПП);
14. Трубопровод для подачи технической воды на ПП;
15. Водозабор технической воды;
16. Водозаборные скважины;
17. Сборный коллектор.

На рисунке 2.3 изображена схема водоснабжения населенного пункта при заборе воды из поверхностного источника. Воду забирают с помощью водозаборного сооружения, обеспечивая прием воды высокого качества и предварительную очистку ее от крупнейших примесей. Тип водозаборного сооружения принимается в зависимости от типа источника, качества воды в нем, гидрогеологических, геологических, топографических условий, судоходства и пр. С водозаборных сооружений НС-1 забирает воду и перекачивает на ОС, где воду осветляют, обесцвечивают, обеззараживают.

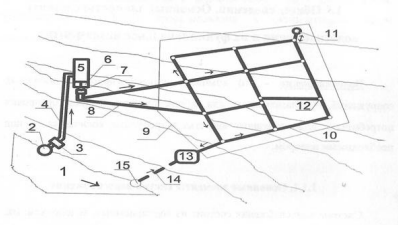


Рисунок 2.3 – Схема водоснабжения населенного пункта при заборе воды из поверхностного источника

На рисунке 2.4 изображена схема водоснабжения населенного пункта при заборе воды из подземного источника. Воду забирают с помощью нескольких скважин и подают в РЧВ.

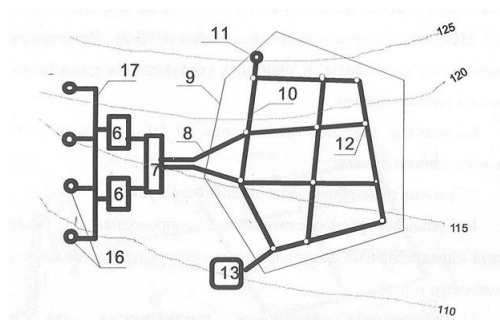


Рисунок 2.4 – Схема водоснабжения населенного пункта при заборе воды из подземного источника

В условиях недостаточных запасов воды широкое распространение получили групповые или районные системы водоснабжения. При этом достаточно мощный источник воды может находиться на достаточном удалении. В этих условиях устраивают разветвленные системы водоводов, а для снижения высоких давлений в трубопроводах, обуславливаемых большими потерями напора ввиду их большой длины, в отдельных узлах сети

устанавливаются резервуары. Из этих резервуаров вода подается по нескольким последовательно расположенными насосными станциями в каждый последующий участок водовода, а также в ответвления к ближайшим потребителям. В отдельных узлах сети в резервуарах обеспечивается также аварийный запас воды, достаточный для обеспечения ею далее расположенных потребителей на время ликвидации аварии на линии, подающей воду в эти резервуары. При использовании двух природных источников надежность водообеспечения существенно повышается.

В сельской местности, где на полив сельскохозяйственных угодий требуется гораздо больше воды, чем на хозяйственно-питьевые нужды для уменьшения себестоимости воды используют *дуплексные схемы водоснабжения*. Они предусматривают два самостоятельных водопровода, подающих очищенную и неочищенную воду: воду для полива и пожаротушения подают отдельной группой насосов в самостоятельную сеть, а хозяйственно-питьевую воду подготавливают на станции очистки воды и подают насосами станции 2-го подъема в хозяйственно-питьевую сеть.

2.3 Схемы водоснабжения промышленных предприятий

В состав схемы промводоснабжения могут входить следующие элементы:

- водозаборное сооружение (предназначено для отбора воды из природного источника);
- НС-1 (предназначена для подачи воды в пруд-отстойник или непосредственно в систему водоснабжения);
- пруд-отстойник (служит для предварительной очистки воды; в случае необходимости дополняется установками для осветления воды и т.д.);
- РЧВ (предназначен для хранения определенного количества воды и создания напора у ряда потребителей в случае отключения системы);
- пруд-накопитель (предназначен для накопления и хранения воды);
- НС-2 (предназначена для создания дополнительного напора);
- насосная станция третьего подъема (НС-3) (предназначена для подъема воды в бак-накопитель водонапорной башни);
- ВБ (назначение – обеспечение необходимого напора у потребителей);
- установка ХВО (химводоочистки);
- водоводы промышленного предприятия;
- запорная и регулирующая аппаратура, предназначенная для обеспечения переключений в сети, регулирования давлений и проведения измерений параметров;
- аккумулирующие сооружения (резервуары, емкости, баки и др.).

Расположение элементов системы водоснабжения на схеме, варианты их конструктивного исполнения, а также мощность зависят от характеристик предприятия и природного источника.

Прямоточную схему можно применять в случае наличия вблизи от объекта (на расстоянии до 3 км) мощного источника воды.

Если среди потребителей технической воды имеется потребитель с большим расходом, сбросная вода от которого по количеству и всем параметрам может удовлетворять остальных потребителей, то в этих случаях применяют *систему повторного использования воды*. Эта система работает по прямоточному режиму, но из источника забирается только, то количество воды, которое необходимо потребителю с большим расходом, а остальные используют его сбросную воду.

Данная система позволяет сократить количество забираемой природной воды и сбрасываемых стоков, удешевить всю систему водоснабжения.

Схема с повторным использованием воды применяется в том случае, если в состав предприятия входит, хотя бы один потребитель, удовлетворяющий двум условиям:

- суммарное водопотребление этого потребителя равно или превышает потребление воды всех оставшихся потребителей;
- качество сбросных вод крупного потребителя удовлетворяет технологическим требованиям оставшихся.

Схема повторного использования воды в сравнении с прямоточной имеет следующие преимущества:

- уменьшение количества воды, забираемой из природного источника;
- снижение количества сбрасываемых сточных вод;
- стоимость эксплуатационных расходов у данной схемы меньше, чем у прямоточной.

Недостатками схемы повторного использования воды являются:

- узкий диапазон применения;
- далеко не все производства предприятия позволяют использовать сточные воды;
- необходимость наличия разветвленных сетей.

Оборотные системы открывают большие возможности в удешевлении системы водоснабжения, сокращении потребления свежей воды и сбросов загрязненных стоков. В данных системах можно использовать и ту часть технической воды, которая загрязняется сравнительно легко удаляемыми примесями. После очистки вода повторно используется (рис. 2.5).

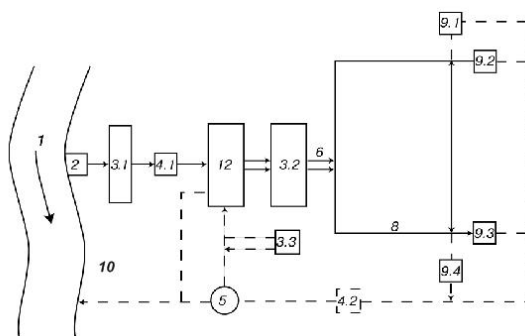


Рисунок 2.5 – Обратная схема системы производственного водоснабжения:

- 1 – источник; 2 – водозаборное сооружение; 3.1 – НС-1; 3.2 – НС-2;
 3.3 – НС-3; 4.1 – очистные сооружения природной воды; 4.2 – очистные сооружения сточных вод ПП; 5 – РЧВ; 6 – водоводы; 8 – водонапорная сеть ПП;
 9.1–9.4 – потребители воды на предприятии; 10 – линия сбросных вод ПП;
 12 – устройства охлаждения технической воды

При таких системах оборотного водоснабжения для компенсации безвозвратных потерь воды в производстве, на охлаждающих установках (испарение с поверхности, унос ветром и др.), на очистных сооружениях, а также потерь воды, сбрасываемой в канализацию, осуществляется подпитка из источников водоснабжения (постоянно или периодически). Количество добавляемой воды составляет 5–10% общего количества воды, циркулирующей в системе.

Оборотные системы применяются на предприятиях с развитым производством. Возможность их использования обусловлена тем, что от 70 до 80% воды, проходящей через технологические установки, только нагревается в системах охлаждения и может быть использована повторно.

Достоинства:

- существенное сокращение объема воды, забираемой из природного источника в сравнении с двумя предыдущими схемами;
- уменьшение расходов на строительство и эксплуатацию системы;
- высокий уровень очистки сбросных вод.

Недостатки:

- ограниченность применения: для крупных и средних предприятий;
- необходимость наличия разветвленных сетей.

По техническим условиям применения данной системы может оказаться просто необходимо потому, что дебет имеющегося природного водоисточника недостаточен для осуществления прямоточного водоснабжения.

Необходимость оборотных систем обуславливается и экологическими требованиями. Применение оборотных систем позволяет снизить количество сбросов загрязненной воды в водоемы.

Бессточные системы технического водоснабжения.

Наиболее ценны с экологической точки зрения оборотные системы без сброса промывки – бессточные системы (рис 2.6). В бессточных (замкнутых) системах водоснабжения на предприятиях вместо свежей воды используется доочищенная до норм качества технической воды смесь промышленных и бытовых сточных вод, предварительно прошедшая биологическую очистку. Биологически очищенные сточные воды, используемые в техническом водоснабжении, должны отвечать техническим, экономическим и санитарно-гигиеническим требованиям.

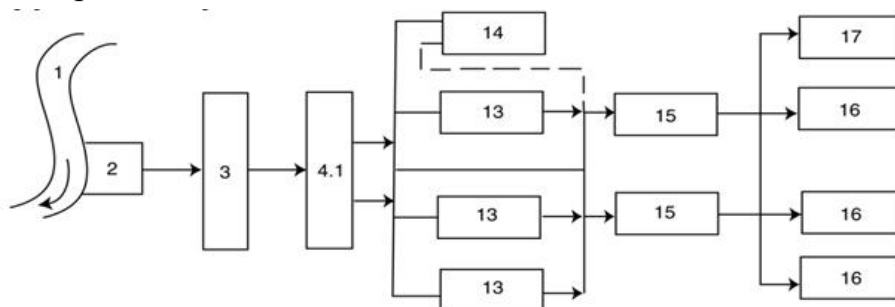


Рисунок 2.6 – Бессточные системы технического водоснабжения:

- 1 – источник; 2 – водозаборное сооружение; 3 – НС-1;
4.1 – очистные сооружения природной воды; 13 – сбрасываемая вода;
14 – ХВО; 15, 16 – потребители воды; 17 – шламовое хозяйство

Бессточные системы водоснабжения являются наиболее современными и экологически чистыми типами систем. Они могут быть построены путем развития, объединения конструкций существующих систем предприятия.

Доработка заключается в частичном изменении конфигурации сети и включению в систему установок для очистки или утилизации сточных вод и шламов.

Принцип работы бессточных систем заключается в следующем: после забора воды из природного источника и прохождении через водозаборное устройство 2, насосные станции 3 и очистные сооружения природной воды 4.1, вода поступает в трубопроводы чистой воды, с помощью которой снабжаются основные потребители “чистого” цикла. Часть воды поступает на ХВО 14 и направляется к потребителям, предъявляющим повышенные требования к воде. Сюда же поступают сточные воды потребителей “чистого” цикла. Другая часть сточных вод, не прошедшая очистку, поступает к потребителям “грязного” цикла, при этом обязательным условием является то, что суммарная мощность сбрасываемых вод 13 достаточна для удовлетворения нужд группы потребителей 15. Потребители “безвозвратного” цикла выделяют в группу 16 и обеспечиваются водой через безвозвратную сеть, остаточные нерастворимые элементы накапливаются в шламовом хозяйстве 17.

Положительные моменты:

- высокая экологическая чистота системы;
- практическая реализация внедрения в производство принципов берегающих технологий.

Недостатки:

- высокая стоимость сооружений;
- большие эксплуатационные расходы.

В практике часто встречаются *комбинированные системы водоснабжения* с различными схемами в зависимости от специфики производства, местных условий, напряженности водного баланса и др. В отдельных случаях при основной схеме оборотного водоснабжения выполняют прямоточную систему для питания потребителей, не использующих по тем или иным причинам оборотную воду. Прямоточный водопровод часто объединяют с хозяйственно-питьевым и противопожарным. Нагретая чистая вода из систем отдельных цехов в определенных условиях может быть использована для восполнения потерь в цехах оборотного водоснабжения или для питания установок, на которых допускается применение нагретой воды.

Таким образом, выбор системы водоснабжения зависит от вида источника, качественных показателей воды и принятой схемы водоснабжения.

2.4 Классификация систем водоснабжения

Режим потребления воды, ее количество и требования к качеству, типы потребителей и их размещение на местности, местные природные условия, экономические предпосылки, наличие стройматериалов и оборудования, наличие источников водоснабжения и их производительность, а также качество воды в них влияют на выбор системы водоснабжения. Учет данных факторов при проектировании систем водоснабжения позволяет классифицировать системы водоснабжения по следующим направлениям:

По назначению:

- системы водоснабжения населенных мест (городов, поселков);
- системы производственного водоснабжения;
- системы сельскохозяйственного водоснабжения;
- системы противопожарного водоснабжения;
- комбинированные системы водоснабжения (хозяйственно-производственные, хозяйственно-противопожарные и т.д.).

По сфере обслуживания:

- объединенные;

- раздельные.

По способу использования воды:

- системы прямоточного водоснабжения (с однократным использованием воды);
- системы оборотного водоснабжения;
- системы с повторным использованием воды.

По способу подачи воды:

- самотечные (гравитационные);
- с механизированной подачей воды (с помощью насосов);
- зонные (в одни районы самотеком, в другие насосами).

По характеру используемых природных источников:

- получающие воду из поверхностных источников;
- получающие воду из подземных источников;
- смешанного типа.

В зависимости от режима водопотребления, а также технологических и противопожарных требований:

- тупиковые;
- кольцевые;
- комбинированные;
- зонные.

По виду обслуживаемых объектов:

- городские, промышленные, сельскохозяйственные, железнодорожные и др.

По способу доставки и распределения воды:

- централизованные;
- децентрализованные;
- комбинированные.

Системы водоснабжения в населенных пунктах предусматривают, как правило, централизованными, при этом в зависимости от местных условий и экономической целесообразности они могут быть раздельными – с собственными источниками водоснабжения для каждой из зон (селитебной или производственной), или объединенными – с общим источником водоснабжения для обеих зон.

Централизованные системы в зависимости от местных условий и выбранной схемы водоснабжения должны обеспечивать в первую очередь хозяйственно-питьевое водопотребление в жилых и общественных зданиях, тушение пожаров, собственные нужды станций водоподготовки. В пределах населенного пункта из водопровода могут получать воду небольшие предприятия, как на питьевые, так и на производственные нужды, а крупные

предприятия, в случае необходимости, – только воду питьевого качества.

Децентрализованное водоснабжение крупного населенного пункта не целесообразно, однако особый интерес представляет способ децентрализованного водоснабжения из бюветов и артезианских скважин, размещенных непосредственно в жилых кварталах города. Преимущество такого способа подачи питьевой воды населению заключается в следующем:

- появляется независимая, надежно защищенная система питьевого водоснабжения на случай аварий и др. чрезвычайных происшествий;
- повышается надежность системы питьевого водоснабжения, т.к. при выходе из строя одного источника водоснабжения население может воспользоваться другими;
- экономно расходуется артезианская вода высокого питьевого качества, запасы которой ограничены;
- для питьевых целей используется вода, требующая меньших, по сравнению с поверхностными водоисточниками, затрат на ее подготовку;
- питьевая вода, поданная населению таким способом дешевле бутилированной.

Следует отметить, что рассмотренный вариант децентрализованного водоснабжения является дополнением к централизованной системе водоснабжения города и предлагает альтернативный источник качественной питьевой воды, что повышает устойчивость системы жизнеобеспечения в кризисных ситуациях.

Вообще системы водоснабжения в большинстве случаев не являются объектами, которые должны обеспечивать 100-процентную надежность, т.е. разрешается в определенных пределах обеспечивать снижение подачи или перерыв в подаче, воды.

По степени надежности водопроводы подразделяют на три категории (табл. 2.1):

- *первая* – позволяет снижать подачу воды в течение 3 суток на хозяйственно-питьевые нужды не более чем на 30%, а на производственные – по аварийному графику. Перерыв в подаче воды допускается не более чем на 10 минут. К этой категории относятся населенные пункты, в которых более 50 тыс. жителей;
- *вторая* – категория допускает снижение подачи воды на 10 суток, а перерыв в подаче на 6 ч. К ней относятся населенные пункты с количеством жителей от 5 до 50 тыс.;
- *третья* – категория позволяет снижать подачу воды на 15 суток, а перерыв в подаче может быть 24 ч. К ней относятся населенные пункты с числом жителей менее 5 тыс.

Категорию сельскохозяйственных групповых водопроводов определяют по населенному пункту с наибольшим количеством жителей.

Таблица 2.1 – Категория надежности подачи воды

Численность населения, тыс. чел	Категория надежности	Допустимое снижение подачи, %	Длительность снижения подачи, сут.	Допустимый перерыв в подаче воды
>50	I	30	3	10 мин
5-50	II	30	10	6 час
<5	III	30	15	24 час

В населенных пунктах с числом жителей более 5 тысяч человек противопожарный водопровод должен быть низкого давления. Противопожарное водоснабжение поселков с числом жителей до 5 тысяч человек допускается также из естественных или искусственных водоемов или резервуаров с забором воды из них пожарными автонасосами или мотопомпами. В этом случае требуемое число водоемов или резервуаров определяют исходя из того, что радиус их действия не должен превышать при тушении пожара: автонасосами – 200 м, мотопомпами – 100–150 м. Объем каждого резервуара должен быть рассчитан на расход воды, необходимый для тушения пожара в течение 3 часов. Пополняют противопожарные резервуары из хозяйственно-питьевого водопровода. Выбор системы противопожарного водоснабжения обосновывают технико-экономическими расчетами. Для поселков с числом жителей до 50 человек при застройке одно-двухэтажными зданиями, а также для отдельно стоящих производственных зданий I и II степени огнестойкости объемом до 1000 м³ противопожарное водоснабжение можно не предусматривать.

Приведенная классификация является не полной, однако включает в себя все основные факторы, которые необходимо учитывать при проектировании систем водоснабжения.

Контрольные вопросы:

1. Что такое система водоснабжения, ее основные элементы?
2. Основные схемы водоснабжения населенного пункта, краткая характеристика их.
3. Основные схемы водоснабжения промпредприятия, краткая характеристика их.
4. Прямоточная схема водоснабжения, ее достоинства и недостатки.
5. Система промводоснабжения с повторным использованием воды, ее достоинства и недостатки.
6. Обратные системы водоснабжения, их достоинства и недостатки, ее достоинства и недостатки.

7. Бессточные системы водоснабжения, их достоинства и недостатки.
8. Назовите основные направления в классификации систем водоснабжения.
9. Расскажите про централизованную и децентрализованную системы водоснабжения.
10. Охарактеризуйте системы водоснабжения по категориям надежности подачи воды.
11. Расскажите про водопроводы, предназначенные для тушения пожаров.

ТЕМА 3 Источники водоснабжения, их характеристика.

Зоны санитарной охраны (ЗСО), предназначение их

3.1 Источники водоснабжения

Источниками водоснабжения централизованных систем водоснабжения являются поверхностные и подземные воды, а также атмосферные осадки. Для технического водоснабжения промышленных предприятий возможно использование доочищенных сточных вод, а также ливневые воды.

В системе водоснабжения допускается использование нескольких источников с различными характеристиками.

Выбор источника является одной из наиболее ответственных задач при устройстве системы водоснабжения, так как он определяет в значительной степени характер самой системы, наличие в ее составе тех или иных сооружений, а, следовательно, стоимость строительства и эксплуатации.

Источник водоснабжения должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать получение из него необходимых количеств воды с учетом роста водопотребления на перспективу развития объекта;
- обеспечивать бесперебойность снабжения водой потребителей;
- давать воду такого качества, которое в наибольшей степени отвечает нуждам потребителей или позволяет достичь требуемого качества путем простой и дешевой ее очистки;
- обеспечивать возможность подачи воды объекту с наименьшей затратой средств;
- обладать такой мощностью, чтобы отбор воды из него не нарушал сложившуюся экологическую систему.

Правильное решение вопроса о выборе источника водоснабжения для каждого данного объекта требует тщательного изучения и анализа водных ресурсов района, в котором расположен объект. Практически все используемые для целей водоснабжения природные источники воды могут быть отнесены к двум основным группам:

- 1) поверхностные источники – моря или их отдельные части (заливы, проливы), водотоки (реки, ручьи, каналы), водоемы (озера, пруды, водохранилища, обводненные карьеры), болота, природные выходы подземных вод (гейзеры, родники), ледники, снежники;
- 2) подземные источники – бассейны подземных вод, водоносные горизонты.

3.2 Водные ресурсы Украины

Водные ресурсы Украины радуют своим многообразием. Они включают практически все возможные виды водных ресурсов. Однако, в количественном выражении, в пересчете на одного жителя страны, запасы пресной воды приблизительно в 8 раз меньше среднемировых и составляют 1140 м^3 на человека. Украина занимает 56 строчку (из 174) по объемам возобновляемых водных ресурсов. Их суммарный объем определен в $139\,500 \text{ км}^3$.

3.2.1 Поверхностные воды

Поверхностные воды Украины, это – *природные естественные водоёмы и водотоки*: озера, общее количество около 20 тыс., реки, общее количество приблизительно 77 тыс.; ручьи и *искусственно созданные водоемы* – водохранилища.

Поверхностные воды покрывают 4% всей территории государства. Основным источником питьевой воды в Украине является река Днепр. Это определяется не только его размерами, но и месторасположением. Днепр является центром притяжения для всех земель Украины и является символом государства.

Реки Украины:

- Днепр – главная река Украины, длина реки – 2201 км; в границах Украины – 981 км; годовой сток оставляет – 54 км^3 ;
- Днестр – длина реки – 1362 км; в границах Украины – 705 км; годовой сток реки – $8,7 \text{ км}^3$;
- Южный Буг – длина реки – 806 км; годовой сток – $3,4 \text{ км}^3$;
- Северский Донец – длина реки – 1053 км; в границах Украины – 672 км; годовой сток – 5 км^3 ;
- Дунай – на территории Украины расположена ее часть длиной в 174 км; годовой сток приблизительно – 123 км^3 – в большей части транзитный.

Каналы

Основная задача каналов в Украине – компенсировать неравномерное распределение поверхностных вод и перераспределить их в пользу более засушливых районов.

Самые крупные каналы Украины:

- Днепр–Донбасс, длина – 263 км;
- Днепр–Кривой Рог, длина – 35 км;
- Северо-Крымский канал, длина – 402 км;
- Северский Донец–Донбасс, длина – 132 км;
- Каховский канал, длина – 130 км.

Озера

На территории Украины расположено более 20 тыс. больших и малых озер, из них у 43-х озер площадь более 10 км², самое большое по площади озеро Ялпуг, общей площадью 149 км², самое глубокое озеро – Свитязь, максимальная глубина – 58,4 метра.

Водохранилища

На территории Украины функционирует более тысячи водохранилищ. Наибольшие водохранилища (Киевское, Каневское, Кременчугское, Днепродзержинское, Днепровское, Каховское) созданы на Днепре с 30-х по 70-е годы XX ст. Расположены водохранилища по территории Украины неравномерно. Наибольшее количество водохранилищ сосредоточено в центральных и юго-восточных областях: Донецкой (130 водохранилищ), Днепропетровской (101), Кировоградской (84). Наименьшее количество водохранилищ на своей территории имеют Ивано-Франковская и Черновицкая области – по три.

3.2.2 Подземные воды

Как показывают расчеты, запасы подземных вод Украины составляют ориентировочно 7 000 000 000 м³/год. Наибольшая их концентрация наблюдается в Западных и Северных районах страны. Как и поверхностные воды, они распределены неравномерно, что существенно усложняет обеспечение пресной водой народное хозяйство и население страны.

3.3 Поверхностные источники водоснабжения

Поверхностным источникам водоснабжения присущи такие природные процессы, как цветение, обрастание и зарастание. *Цветение воды* – это интенсивное размножение в верхних слоях воды планктонных организмов растительного (фитопланктон) и животного (зоопланктон) происхождения. Наиболее массовое развитие планктона происходит в весенний, летний и осенний периоды года, особенно в озерах и водохранилищах. Реки с большими скоростями движения воды цветут значительно слабее и реже. При заборе воды в период ее цветения водоприемные сооружения покрываются слоем гелеобразной, слизистой массы. Весной и осенью фитопланктон представлен, в основном, диатомовыми водорослями, а летом – сине-зелеными. Фактором,

значительно затрудняющим забор воды из водоисточников, является обрастание, т.е. отложение мелких водных организмов на твердых поверхностях, находящихся под водой, в том числе и на водоприемных устройствах и внутренней поверхности самотечных труб. Качественный состав и интенсивность обрастания зависят от физико-химических свойств воды в водоисточниках.

Характерной особенностью поверхностных источников водоснабжения является относительно большая мутность, содержание органических веществ, бактерий, малое содержание солей (кроме морской воды и некоторых озер). Качество и количество воды поверхностных источников значительно зависит от количества осадков, таяния снегов, загрязненности поверхности. Воду из поверхностных источников для питьевых целей необходимо подвергать очистке.

Кроме того, каждый из видов поверхностных водоисточников имеет свои особенности, связанные с климатическими, геологическими, метеорологическими, гидрологическими, топографическими, биологическими и другими факторами. Естественно, не все перечисленные факторы в равной степени влияют на состояние источника, поэтому для правильного выбора и проектирования водозаборного сооружения в каждом конкретном случае необходимо детальное изучение указанных факторов.

3.3.1 Реки

Реки – природные открытые водные потоки, которые текут по созданным ими руслам. В природном (незарегулированном) состоянии оценку рек как источников водоснабжения следует производить, прежде всего, на основании гидрологических факторов, в частности количества и качества стока, общих расходов, уровней воды, их колебаний, ледового режима, паводков, их колебаний, скорости течения, количества и качества наносов, устройства русла. Необходимо также учитывать топографические и геологические факторы.

Для зарегулированных рек как источников водоснабжения, кроме указанных выше факторов, следует учитывать также гидрографические условия, т.е. очертание береговой линии, образовавшееся в результате регулирования стока реки; метеорологические факторы – направление и силу ветра; биологические факторы – цветение воды, продолжительность цветения, наличие планктона, водной растительности.

Поверхностные водоисточники имеют разнообразный *режим питания и стока*.

Для большинства рек *основными источниками питания* являются дождевые, снеговые и ледниковые воды. В засушливые периоды года и в период ледостава источником питания реки служат подземные воды. Реки, как

правило, имеют несколько источников питания с преобладанием одного или двух из них, меняющихся по периодам года. Для равнинных рек характерно грунтовое и частично дождевое – летом и зимой; снеговое в результате его таяния – весной; дождевое – осенью.

Речной сток и его *расходы* изменяются в зависимости от периода года и по длине реки – от верховья до устья. Обычно сток и расход увеличиваются с увеличением водосборной площади, поэтому расходы воды в реке различны для разных створов и населенных пунктов.

Наличие в бассейне рек, озер и водохранилищ болот способствует уменьшению максимального стока, зато препятствует резкому уменьшению стока в меженный период, когда реки питаются преимущественно грунтовыми водами. Иначе говоря, болота выполняют буферную роль в количественном изменении стока реки по периодам года.

В связи с неравномерностью стока по сезонам года весьма важной характеристикой водного режима реки является среднемноголетнее значение стока, а также их максимальные и минимальные значения, которые необходимо учитывать при выборе и проектировании водозаборных сооружений.

Скорости движения воды в реке и колебания уровней в значительной степени зависят от формы поперечного сечения русла, его уклона, очертания в плане, водной растительности.

Движение воды в реке носит турбулентный характер. У вогнутого берега массы воды перемещаются вниз, размывая берега, а у выпуклого берега – вверх, намывая его. Эту закономерность движения речного потока следует учитывать при выборе конструкции и места расположения водозабора.

Скорости движения воды в реках распределяются по живому сечению неравномерно – по вертикали они уменьшаются от поверхности ко дну, а по горизонтали – от середины реки к берегам. Для створа речки с живым сечением W , через который проходит расход Q , средняя скорость V составляет:

$$V = \frac{Q}{W} \quad (3.1)$$

Обычно средняя скорость реки не превышает 5 м/с, однако местные скорости могут значительно отличаться от этой величины, а мгновенные в отдельных точках превышать в 2 и более раз.

3.3.1.1 Ледовые явления

Процесс замерзания на реках происходит следующим образом. С понижением температуры воздуха начинается постепенное охлаждение речных вод. Возле берегов, на отмелях, т.е. в местах с малыми скоростями и глубинами, где быстрее охлаждается вода, появляются первые кристаллы льда. Примерзая к берегам, они образуют полосы льда, прикрепленные к берегу, так называемые

забереги. Одновременно с образованием заберегов, на реках появляется *сало*.

Сало представляет собой плывущие по поверхности воды прозрачные кристаллики толщиной до нескольких миллиметров в виде игл и тонких пластинок, издали похожих на пятна застывшего на воде жира. Выпавший снег на переохлажденную водную поверхность образует *снежуру*.

Вследствие турбулентного характера течения происходит непрерывное перемешивание и выравнивание температуры воды по всему сечению реки. В результате переохлаждения воды, происходит образование кристаллов *внутриводного льда*. Одной из разновидностей его является *шуга* – всплывший на поверхность реки внутриводный и *донный лед*.

Шуга может находиться в движении и создавать *шугоход* или быть в неподвижном состоянии. Скопление шуги под ледяным покровом приводит к образованию *зажоров*. Зажоры образуются в местах искривления речного потока, резкого изменения глубин, сужения русла. При температуре воздуха ниже 0 °С во время осеннего ледохода крупные льдины могут задерживаться в местах сужения реки, у островов, на поворотах и мелях. Вследствие постепенной остановки и смерзания льдин происходит образование *ледостава*. На малых реках ледообразование происходит спокойно, чаще всего путем срастания заберегов.

По характеру ледового режима реки разделяют на четыре группы: с устойчивым ледоставом, с неустойчивым ледоставом, с отдельными ледовыми явлениями и с отсутствием ледовых явлений.

Продолжительность ледостава на реках колеблется в широких пределах и зависит, прежде всего, от климатических условий территорий, по которым они протекают.

Для характеристики шуголедовых явлений на реках используют балльную оценку:

- 1 балл – малое количество шуги (до 25% по живому сечению), шугоход до 3 суток без образования заторов, вся шуга транспортируется в верхнем слое воды;
- 2 балла – среднее количество шуги (до 50% по живому сечению), шугоход до 7 суток с образованием шуговых заторов и транспортированием шуги в верхней половине живого сечения потока;
- 3 балла – большое количество шуги (до 90% по живому сечению), шугоход более 7 суток с образованием шуговых заторов и транспортированием шуги по всему живому сечению.

Период шугохода и его характер для рек обычно устанавливают на основе многолетних наблюдений.

3.3.1.2 Речные наносы

Речными наносами называются твердые минеральные частицы, переносимые потоком и формирующие русловые и пойменные отложения. Речные наносы образуются из продуктов выветривания, денудации и эрозии горных пород и почв.

Водная эрозия, разрушение земной поверхности под действием текучих вод, представляет собой наиболее активный процесс, обогащающий реки наносами. Она подразделяется на склоновую и русловую.

Склоновая эрозия – размыв и смыл почв и горных пород снеговыми и дождевыми водами, стекающими по склону.

Русловая эрозия – размыв водными потоками, протекающими в руслах, коренных пород дна и берегов русла и склонов долин.

Воды рек размывают берега и дно русла. Однако наносы, поступающие за счет этих процессов, являются лишь частью речных наносов, причем некоторая доля их представляет собой продукты размыва ранее отложившихся в русле наносов, принесенных с поверхности бассейна.

Интенсивность водной эрозии зависит, прежде всего, от энергии текучих вод и затем от сопротивляемости размыву поверхности, по которой стекают эти воды.

Уничтожение растительного покрова (вырубки, неумеренный выпас скота, пожары), неправильная распашка поверхности (вдоль склонов) и обработка почв без соблюдения агротехнических правил, предусматривающих сохранение структурности почв, могут привести к усилению эрозии, местному смыву почв, возникновению овражной эрозии и в конечном итоге к увеличению мутности рек.

Основные определения и характеристики речных наносов

Речные наносы в зависимости от характера движения в потоке обычно подразделяют на взвешенные и влекомые. Наносы, подразделяют, кроме того, на транзитные и руслоформирующие. Малые частицы переносятся к устью реки по преимуществу транзитом. Более крупные частицы в зависимости от гидравлических свойств потока то переносятся потоком во взвешенном или влекомом состоянии, то задерживаются на отдельных участках реки, с тем, чтобы при изменении гидравлических свойств потока вновь перейти в движение. Таким образом, постоянно происходит переформирование русла. Очевидно, что большая часть взвешенных наносов является транзитной, а большая часть влекомых – руслоформирующей.

Количество наносов (в килограммах), проносимое рекой через поперечное сечение в единицу времени, называется расходом наносов. Суммарное количество наносов, проносимое рекой через поперечное сечение за

некоторый промежуток времени (сутки, месяц, год), называется стоком наносов за этот промежуток времени и выражается обычно в тоннах. Модулем стока наносов называют сток наносов с 1 км^2 за год. Важной характеристикой наносов является их гранулометрический состав, т.е. распределение данной фракции.

Количество взвешенных наносов, содержащееся в единице объема (1 м^3) воды, называется мутностью. Мутность выражается в г/м^3 .

3.3.1.3 Русловые деформации

Русловые деформации – размыв или намыв дна и берегов. Физической причиной русловых деформаций является нарушение баланса наносов на тех или иных участках речного русла. Изменение расхода наносов вдоль потока на бесприточном участке неизбежно сопровождается русловыми деформациями: увеличение расхода наносов вдоль реки соответствует размыву русла (эрозии), уменьшение расхода наносов сопровождается повышением отметок дна (аккумуляция наносов). Русловые деформации подразделяют на вертикальные (преобладает изменение отметок дна русла), и горизонтальные (наблюдаются поперечные смещения русла). Обычно эти два вида русловых деформаций происходят одновременно.

Русловые деформации могут быть периодическими (знакопеременными, обратимыми) и направленными (необратимыми). К периодическим русловым деформациям относят такие изменения русла, которые неоднократно повторяются во времени, а изменения отметок дна носит знакопеременный характер. Эти русловые деформации наблюдаются при движении донных гряд, развитии излучин и т.д. Направленные русловые деформации выражены в односторонних изменениях русла, например, при одностороннем размыве или намыве речных отложений. Необратимыми деформациями называют деформации, сопутствующие сооружению водохранилищ.

В зависимости от вида деформации русла все реки можно разделить на 3 основные группы:

- блуждающие реки – сильные изменения русел рек, изменения глубин на перекатах (таких рек в Украине нет);
- непостоянные реки – относительно небольшое и медленное изменение русла, речное перемещение русла вниз по течению не превышает 70–100 м. (Днепр, Днестр);
- постоянные – протекают в стойких, малоразрушимых породах с малыми скоростями и несут малое количество наносов.

3.3.2 Озера и водохранилища

При оценке озер и водохранилищ учитываются те же факторы, что и для рек. Для водохранилищ дополнительно анализируются те же факторы, что и

для зарегулированных рек.

Различают 3 основных уровня (горизонта) и 4 объема:

уровни:

1. форсированный подпорный уровень (ФПУ) или горизонт форсировки – отметка водной поверхности водохранилища, превышающая НПУ, который, при проектировании гидроузла с известной пропускной способностью, определяется, исходя из площади водохранилища и максимально возможного притока воды. Превышение этого уровня может привести к переливу через гребень плотины и к другим аварийным ситуациям;
2. нормальный подпорный уровень (НПУ) – оптимальная наивысшая отметка водной поверхности водохранилища, которая может длительно поддерживаться подпорным сооружением;
3. уровень мёртвого объёма (УМО) или горизонт сработки водохранилища – отметка водной поверхности, соответствующая наибольшему опорожнению водохранилища.

объёмы:

1. объём или полный объём водохранилища – данная величина равна сумме мёртвого и полезного объёмов;
2. ёмкость форсировки или регулирующая ёмкость водохранилища – часть объёма водоема между отметками ФПУ и НПУ, предназначенная для уменьшения максимального расхода через гидроузел во время весеннего половодья или дождевых паводков;
3. полезный объём водохранилища – часть объёма водоема между отметками оптимального наивысшего уровня горизонта (НПУ) и уровнем максимальной сработки водоема (УМО);
4. мертвый объём водохранилища – объём водоема ниже отметки горизонта сработки водохранилища (УМО).

3.4 Подземные источники водоснабжения

Подземные источники питьевого водоснабжения – это грунтовые воды, межпластовые воды (безнапорные и напорные), верховодка, инфильтрационные береговые воды и родники.

Подземные воды (ПВ) – воды, находящиеся в толщах горных пород верхней части земной коры в жидком, твёрдом и парообразном состоянии.

ПВ перемещающиеся под влиянием силы тяжести, называются гравитационными, или свободными, в отличие от вод, связанных, удерживаемых молекулярными силами, – гигроскопических, плёночных, капиллярных и кристаллизационных. Слои горных пород, насыщенные гравитационной водой, образуют водоносные горизонты. Первый от

поверхности земли постоянно существующий безнапорный водоносный горизонт называется горизонтом грунтовых вод. Всё пространство от поверхности земли до зеркала грунтовых вод называется зоной аэрации, в которой происходит просачивание вод с поверхности. В зоне аэрации на отдельных разобъённых прослоях пород, обладающих меньшей фильтрационной способностью, в период питания грунтовых вод образуются временные скопления ПВ, называются верховодкой. Водоносные горизонты, залегающие ниже грунтовых вод, отделяются от них пластами водонепроницаемых (водоупорных) или слабопроницаемых пород и называются горизонтами межпластовых вод. Они обычно находятся под гидростатическим давлением. Область питания межпластовых вод находится в местах выхода водовмещающих пород на дневную поверхность (или в местах их неглубокого залегания); питание происходит также и путём перетекания воды из других водоносных горизонтов (рис 3.1).

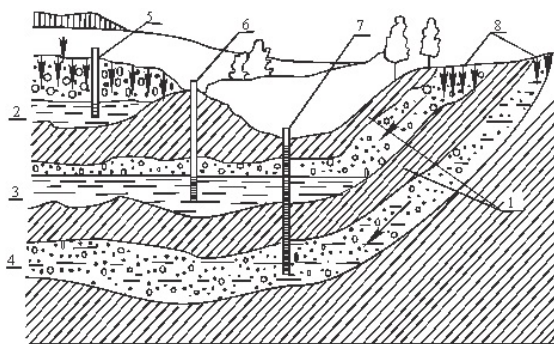


Рисунок 3.1 – Схема залегания подземных вод:

- 1 – водоупорный слой; 2 – грунтовые воды; 3 – межпластовые воды без напора; 4 – горизонт межпластовой напорной воды; 5 – колодезь грунтовой воды;
6 – скважина, берущая межпластовую безнапорную воду; 7 – скважина, берущая межпластовые напорные (артезианские) воды; 8 – зона питания водоносных горизонтов

По происхождению выделяется несколько типов ПВ:

- инфильтрационные воды образуются благодаря просачиванию с поверхности земли дождевых, талых и речных вод. По составу они преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые и магниевые. При выщелачивании гипсоносных пород формируются сульфатно-кальциевые, а при растворении соленосных – хлоридно-натриевые воды;
- конденсационные воды образуются в результате конденсации водяных паров в порах или трещинах пород;
- седиментационные воды формируются в процессе геологического осадкообразования и обычно представляют собой измененные захороненные воды морского происхождения – хлоридно-натриевые, хлоридно-кальциево-натриевые и др.

В зависимости от характера пустот водовмещающих пород ПВ делятся на поровые – в песках, галечниках и др. обломочных породах; трещинные (жильные) – в скальных породах (гранитах, песчаниках) и карстовые (трещинно-карстовые) – в растворимых породах (известняках, доломитах, гипсах и др.).

Вода, находящаяся от поверхности земли на различной глубине, именуется по-разному. Она называется верховодкой, если глубина залегания воды составляет до 4 м; почвенной водой — при глубине до 10 м; грунтовой – при глубине до 40 м; артезианской – при глубине более 40 м.

В зависимости от строения горных пород, сквозь которые течет вода (рис. 3.2), будет зависеть скорость ее движения. Все горные породы по отношению к воде делятся на водоупорные и водонепроницаемые породы:

- водонепроницаемые: гравий, песок, супесок, галечник, известняк, трещиноватый мел;
- водоупорные: гранит, известняк, глина, плотный песчаник.



Рисунок 3.2 – Схема геологического разреза

Верховодкой называется некое скопление воды на поверхности слабопроницаемых или водоупорных пород, которые включены в толщу водопроницаемого слоя. Так же как и грунтовая вода, находясь вблизи от поверхности, верховодка может загрязняться и стать непригодной для питьевого водоснабжения.

Грунтовые (безнапорные) воды находятся на первом водоупорном пласте (если считать от поверхности) располагаются безнапорные воды. В колодце они находятся на уровне с подземными водами. Грунтовая вода движется по направлению уклона водоупорного подстилающего слоя. Чаще всего такая вода пригодна для питьевого водоснабжения и в природных условиях не загрязнена. Но загрязнение грунтовых вод может произойти от почвы: чем ближе к поверхности залегает вода, тем больше вероятность ее загрязнения из расположенных над ней хозяйственных объектов и населенных пунктов.

Очень важные подземные источники водоснабжения – межпластовые безнапорные, а также напорные воды. Отличием межпластовых вод от других видов является очень глубокое залегание, которое препятствует питанию этих вод поверхностными водами.

Артезианская вода (межпластовая напорная) залегает под несколькими водоупорными слоями и изливается на поверхность во время возникновения избыточного гидростатического давления. Артезианские водоносные слои (еще их называют горизонтами или пластами) из глубины своего залегания изливаются на поверхность, где питаются осадками из атмосферы. Если вода из вышележащего горизонта (грунтовых вод) попадет в артезианские воды, то качество артезианской воды ухудшится. Загрязнение так же может произойти от промоины в ложе русла, сквозь заброшенные колодца и скважины, при разработке карьеров и так далее.

Также среди ПВ можно выделить родники и инфильтрационные воды:

- *родником* называется естественный выход подземной воды на поверхность. Этот источник образуется после падения рельефа местности, в то время, когда водоносный слой разрезается каким-то оврагом. Такой родник называется нисходящим. Восходящий родник возникает в результате прорыва напорной воды сквозь породы, которые его перекрывали. Вода из родников всегда прохладная и имеет постоянный состав минеральных веществ. Кроме того, родниковая вода отличается своей бактериологической чистотой.

- *инфильтрационные воды* образуются в результате процесса фильтрации открытых водоемов сквозь подземный слой прилегающей территории. Если берег водоема имеет проницаемые фильтрующие породы, то можно построить водозаборные колодцы. Если инфильтрационная вода смешается с водой из открытых водоемов, то ее качество ухудшится.

3.5 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения, их назначение

Зона санитарной охраны (ЗСО) – территория, включающая источник водоснабжения и (или) водопровод, состоящая из трех поясов, на которых устанавливаются особые режимы хозяйственной деятельности, санитарного надзора, контроля качества воды в источнике, а также охраны объекта. Пояса представляют собой окружности, центр которых находится в источнике водоснабжения. Если таких источников несколько (несколько скважин), то следует выделять несколько окружностей с центром в каждой из скважин.

Основной целью ЗСО является охрана от загрязнения источников водоснабжения, а также водопроводных сооружений и окружающей территории. Санитарная охрана водоводов обеспечивается санитарно-защитной полосой.

В каждом из трех поясов, а также в пределах санитарно-защитной полосы, соответственно их назначению, устанавливается специальный режим и определяется комплекс мероприятий, исключающих возможность ухудшения качества воды.

Организации ЗСО должна предшествовать разработка ее проекта, в который включается определение границ зоны и составляющих ее поясов, и разработка плана мероприятий по улучшению санитарного состояния ЗСО.

Определение границ ЗСО и разработка комплекса необходимых санитарных мероприятий находятся в зависимости от вида источников водоснабжения, проектируемых или используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, от степени их естественной защищенности и возможности микробного или химического загрязнения, от особенностей санитарных, гидрогеологических и гидрологических условий, а также от характера загрязняющих веществ.

Установленные границы ЗСО и составляющих ее поясов могут быть пересмотрены в случае возникших или предстоящих изменений условий эксплуатации источников водоснабжения.

3.5.1 Назначение поясов зоны санитарной охраны

Первый пояс ЗСО подземных и поверхностных источников водоснабжения и водопроводных сооружений устанавливается в целях устранения возможности случайного или умышленного загрязнения воды источника в месте нахождения водозаборных и водопроводных сооружений.

Второй и третий пояса ЗСО создают с целью предотвращения неблагоприятного влияния на качество и количество воды используемых или предполагаемых к использованию подземных и поверхностных источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения путем осуществления комплекса мероприятий, исходя из местных санитарных условий, гидрогеологических или гидрологических особенностей источников водоснабжения и характера возможного их загрязнения, если загрязнение воды источников уже имеет место, оно не должно превышать регламентированных пределов.

При обосновании границ второго и третьего поясов ЗСО подземных источников водоснабжения следует учитывать, что приток подземных вод из водоносного горизонта к водозабору происходит только из области питания водозабора, форма и размер которой в плане зависят от типа водозабора и величины водоотбора (расхода воды).

3.5.2 ЗСО подземных источников водоснабжения

Определение границ первого пояса ЗСО

Водозаборы подземных вод должны располагаться, как правило, вне

территории промышленных предприятий и жилой застройки.

Первый пояс ЗСО устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозабора – при использовании защищенных подземных вод и на расстоянии не менее 50 м – при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

При использовании группы подземных водозаборов граница первого пояса должна находиться на расстоянии не менее 30 м и 50 м, соответственно, от крайних скважин (или шахтных колодцев).

Определение границ второго пояса ЗСО

Граница второго пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами, исходя из условий, что если за ее пределами в водоносный горизонт поступят микробные (нестабильные) загрязнения, то они не достигнут водозабора.

Для эффективной защиты подземного источника водоснабжения от микробного загрязнения необходимо, чтобы расчетное время (T м) продвижения загрязнения с подземными водами от границы второго пояса до водозабора было достаточным для утраты жизнеспособности и вирулентности патогенных микроорганизмов, т.е. для эффективного самоочищения.

Время (T м) продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору следует считать основным параметром, определяющим расстояние от границ второго пояса ЗСО до водозабора и одновременно обеспечивающим эпидемическую и гигиеническую надежность границ ЗСО.

Определение границ третьего пояса ЗСО

Граница третьего пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами, исходя из условия, что если за ее пределами в водоносный горизонт поступят химические (стабильные) загрязнения, они или не достигнут водозабора, перемещаясь с подземными водами вне области питания, или достигнут водозабора, но не ранее расчетного времени T_x .

Для защиты подземного водоисточника от химического загрязнения, преимущественно стабильного характера, необходимо, чтобы время продвижения загрязненной воды от границы третьего пояса ЗСО до водозабора было больше принятой (средней) продолжительности технической эксплуатации водозабора. В этих случаях для защиты от химического загрязнения время T_x следует принимать не менее 25 лет.

3.5.3 ЗСО поверхностных источников водоснабжения

Определение границ первого пояса ЗСО

Граница первого пояса ЗСО водопровода с поверхностным источником, в том числе с водоподводящим каналом, и водозабором для искусственного пополнения запасов подземных вод устанавливается, с учетом конкретных условий, в следующих пределах:

а) для проточных водотоков:

- вверх по течению не менее 900 м от водозабора;
- вниз по течению не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу не менее 100 м от линии уреза воды летне-осенней межени;
- в направлении к противоположному от водозабора берегу при ширине реки или канала менее 100 м – вся акватория и противоположный берег шириной 50 м от линии уреза воды при летне-осенней межени, при ширине реки или канала более 100 м – полоса акватории шириной не менее 100 м.

б) для непроточных водоемов (водохранилища, озера) граница первого пояса должна устанавливаться в зависимости от санитарных и гидрологических условий:

- по акватории во всех направлениях не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу не менее 100 м от линии уреза воды при летне-осенней межени.

Определение границ второго пояса ЗСО

Границы второго пояса ЗСО проточных водотоков (реки, каналы) и водоемов (водохранилища, озера) определяются в зависимости от природных, климатических и гидрологических условий.

Объем и уровень загрязнений, допускаемых к отведению в поверхностные источники водоснабжения, устанавливаются органами по регулированию и охране вод по согласованию с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы.

Граница второго пояса для водозабора должна быть удалена вверх по течению настолько, чтобы время пробега по основному водотоку и его притоку, в целях микробного самоочищения от границы ЗСО до водозабора, при расходе воды в проточном водоеме 95 % обеспеченности, было не менее 5 суток – для I А, Б, В, и Г, а также II А климатических районов и не менее 3 суток – для I Д, II Б, В, Г, а также III и IV климатических районов.

При наличии судоходства в границы второго пояса ЗСО следует включать акваторию, прилегающую к водозабору до линии фарватера.

Расстояние от верхней границы второго пояса ЗСО до водозабора определяется исходя из:

- времени пробега воды в сутках, необходимого для микробного самоочищения;
- скорости течения воды в м/сутки, усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков при резких колебаниях скорости течения.

На непроточных водоемах граница второго пояса ЗСО должна быть удалена по акватории во все стороны от водозабора на расстоянии 3 км – при количестве ветров до 10 % в сторону водозабора и 5 км – при количестве ветров более 10 %.

Боковые границы второго пояса ЗСО определяются береговой полосой, ширина которой от уреза воды при летне-осенней межени должна быть:

- при равнинном рельефе местности – не менее 500 м;
- при гористом рельефе местности – до вершины первого склона, обращенного в сторону источника водоснабжения; при пологом склоне - в пределах 750 м и при крутом склоне – не менее 1000 м.

Граница второго пояса ЗСО проточного водоема ниже по течению должна быть на расстоянии не менее 250 м от водозабора с целью исключения влияния ветровых обратных течений, возможность которых тем больше, чем меньше скорость течения.

При наличии в реке обратных течений, вызываемых природными или гидротехническими условиями, нижняя граница ЗСО проточного источника водоснабжения должна определяться в каждом конкретном случае с учетом местных условий и необходимости максимального ограничения возможности загрязнения водоема.

Определение границ третьего пояса ЗСО

Границы третьего пояса ЗСО поверхностных источников водоснабжения вверх и вниз по течению совпадают с границами второго пояса, боковые границы должны проходить по линии водоразделов в пределах 3 – 5 километров, включая притоки.

3.5.4 Санитарная охрана водопроводных сооружений и водоводов

Граница первого пояса ЗСО для водопроводных сооружений принимается на расстоянии:

- от запасных и регулирующих емкостей, фильтров, контактных осветлителей и насосной станции – не менее 30 м;
- от водонапорных башен – не менее 10 м;
- от остальных помещений (отстойники, реагентное хозяйство, склад хлора и др.) – не менее 15 м.

Размер санитарно-защитной зоны от промышленных и сельскохозяйственных предприятий до сооружений по очистке и подготовке воды следует принимать как для населенных пунктов, в зависимости от класса вредности производства.

При наличии расходного склада хлора на территории расположения водопроводных сооружений санитарно-защитная зона до жилых и общественных зданий должна быть не менее 300 м.

Санитарная охрана водоводов предусматривается путем санитарно-защитной полосы. Ширину санитарно-защитной полосы следует принимать по обе стороны от крайних линий водовода:

- при отсутствии грунтовых вод – не менее 10 м при диаметре водоводов до 1000 мм и не менее 20 м при диаметре водоводов более 1000 мм,
- при наличии грунтовых вод – не менее 50 м вне зависимости от диаметра водоводов.

3.5.5 Основные водоохранные мероприятия на территории ЗСО

Проект ЗСО должен предусматривать основные санитарные мероприятия применительно к назначению каждого пояса ЗСО в целях устранения и предупреждения возможности загрязнения воды источников водоснабжения и водопроводных сооружений.

По первому поясу ЗСО подземных и поверхностных источников водоснабжения и площадок водопроводных сооружений:

- запрещаются все виды строительства, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации, реконструкции и расширению водопроводных сооружений, в том числе прокладка трубопроводов различного назначения, размещение жилых и хозяйственно-бытовых зданий, проживание людей, в том числе работающих на водопроводе, а также применение ядохимикатов и удобрений;
- здания должны быть канализованы с отведением сточных вод в ближайшую систему бытовой или производственной канализации или на местные очистные сооружения, расположенные за пределами первого пояса ЗСО с учетом санитарного режима на территории второго пояса ЗСО; в исключительных случаях, при отсутствии канализации должны устраиваться водонепроницаемые приемники для нечистот и бытовых отходов, расположенные в местах, исключающих загрязнение территории первого пояса ЗСО при их вывозе, с последующей дезинфекцией;
- при подземных источниках водоснабжения должно быть предусмотрено строгое выполнение санитарно-технических требований к конструкции скважин;
- при поверхностном водоисточнике запрещается спуск любых сточных вод, а также купание, стирка белья, водопой скота и другие виды водопользования, оказывающие влияние на качество воды;
- акватория первого пояса должна ограждаться буями и другими предупредительными знаками, на судоходных водоемах над водоприемником водозаборов должны устанавливаться бакены с освещением;
- территория первого пояса ЗСО должна быть спланирована для отвода

поверхностного стока за ее пределы, озеленена, ограждена и обеспечена постоянной охраной;

- все водозаборы должны быть оборудованы аппаратурой для систематического контроля соответствия фактического дебита при эксплуатации водопровода проектной производительности, предусмотренной при его проектировании и обосновании границ ЗСО.

По второму и третьему поясам ЗСО подземных источников водоснабжения:

- выявление, тампонирующее (или восстановление) всех старых, бездействующих, дефектных или неправильно эксплуатируемых скважин, представляющих опасность в части возможности загрязнения водоносного горизонта;
- регулирование бурения новых скважин и любого нового строительства при обязательном согласовании с местными органами санитарно-эпидемиологической службы в строгом соответствии с действующим санитарным законодательством;
- запрещение закачки отработанных вод в подземные горизонты, подземного складирования твердых отходов и разработки недр земли, которая может привести к загрязнению водоносного горизонта;
- запрещение размещения складов горюче-смазочных материалов, а также складов ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промстоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод;
- своевременное выполнение необходимых мероприятий по санитарной охране поверхностных водоемов, имеющих непосредственную гидравлическую связь с используемым водоносным горизонтом.

По второму и третьему поясам ЗСО поверхностных источников водоснабжения:

- регулирование, а в случае необходимости и ограничение, отведения территории для населенных пунктов, лечебно-профилактических и оздоровительных учреждений, промышленных и сельскохозяйственных объектов, а также регулирование возможных изменений технологии промышленных предприятий, связанных с повышением степени опасности загрязнения сточными водами поверхностных источников водоснабжения;
- выявление объектов, загрязняющих водоем, и составление планов осуществления конкретных водоохраных мероприятий в сроки, согласованные с местными органами санитарно-эпидемиологической

службы;

- запрещение отведения в источники водоснабжения сточных вод, не отвечающих требованиям "Правил охраны поверхностных водоемов от загрязнения сточными водами".

По санитарно-защитной полосе водоводов:

- в пределах санитарно-защитной полосы водоводов должны отсутствовать источники загрязнения почвы и грунтовых вод;
- запрещается прокладка водоводов по территории свалок, полей ассенизации, полей фильтрации, полей орошения, кладбищ, ското-могильников, а также прокладка магистральных водоводов по территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий;
- характер и объем необходимых мероприятий на территории первого, второго и третьего поясов ЗСО в зависимости от особенностей местных природных и санитарных условий могут быть изменены и дополнены в процессе рассмотрения проектов ЗСО, а также в период последующей эксплуатации водопроводов, и утверждены в установленном порядке;
- для территории второго пояса ЗСО источников водоснабжения, а также для санитарной охраны водоводов и водоподводящих каналов, должна предусматриваться патрульная служба;
- санитарные мероприятия должны выполняться:

а) в пределах первого пояса ЗСО – органами коммунального хозяйства или другими владельцами водопроводов за счет средств, предусмотренных на их строительство и эксплуатацию;

б) в пределах второго и третьего поясов ЗСО – владельцами объектов, оказывающих (или могущих оказать) отрицательное влияние на качество воды источников водоснабжения.

Государственный санитарный надзор за выполнением водоохраных мероприятий в пределах первого, второго и третьего поясов ЗСО осуществляется местными органами санитарно-эпидемиологической службы. Невыполнение предусмотренных мероприятий в установленные сроки является нарушением санитарных норм и правил.

Контрольные вопросы:

1. Источники водоснабжения, обоснование их выбора.
2. Водные ресурсы Украины.
3. Поверхностные источники водоснабжения, их характеристика.
4. Подземные источники водоснабжения, их характеристика.
5. Что такое зона санитарной охраны (ЗСО), ее назначение.
6. ЗСО подземных источников водоснабжения.

7. ЗСО поверхностных источников водоснабжения.
8. Санитарная охрана водопроводных сооружений и водоводов.
9. Основные водоохранные мероприятия на территории ЗСО.

ТЕМА 4 Сооружения для забора воды, конструктивные особенности и их типы

4.1 Поверхностные водозаборы

Условия приема воды из водохранилищ имеют ряд особенностей, которые влияют на тип и оборудование водоприемников. При проектировании и строительстве водоприемных сооружений на водоемах рыбохозяйственного значения должны быть предусмотрены все мероприятия и устройства по рыбоохране.

Иногда водоприем требует проведения в русле реки регулиционных работ для улучшения условий забора воды, а также устройства водоподъемных плотин для увеличения глубины в месте водоприема. Как в этом случае, так и в случае устройства водохранилищ водоприемные сооружения могут быть возведены отдельно от плотин или конструктивно объединены с ними. Так возникает особый тип водоприемников, конструктивно объединенных с речными гидротехническими сооружениями.

При наличии вблизи берега глубин, обеспечивающих требуемые условия забора воды, и при относительно крутом берегу применяются *водоприемники берегового типа*. Их располагают на склоне берега с приемом воды непосредственно из русла реки. При этом насосы первого подъема могут быть расположены в отдельном здании насосной станции или в самом водоприемнике. Этим определяются соответственно два вида водоприемников берегового типа – *раздельный* и *совмещенный*.

Если требуемые для приема воды глубины могут быть найдены только на значительном расстоянии от берега (что обычно имеет место при малых уклонах берега и дна реки), используются *водоприемники руслового типа*. В месте забора воды из реки в ее русле устраивается приемный оголовок, от него вода подается по трубам к береговому колодцу. При этом, как и у водоприемников берегового типа, насосная станция может быть устроена отдельно или конструктивно объединена с береговым колодцем.

В ряде случаев для улучшения условий приема воды ее забирают не непосредственно из русла реки, а из искусственно созданных заливов – ковшей. Устройство ковшей позволяет снизить количество взвешенных наносов в воде, забираемой насосами, а также успешно бороться с внутриводным льдом и шугой.

Приведенный классификационный обзор основных принципиальных типов речных водоприемных сооружений не охватывает все их действительное многообразие, обусловленное исключительным разнообразием местных природных условий, весьма сильно влияющих именно на этот вид водопроводных сооружений.

4.2 Подземные водозаборы

Выбор типа и схемы размещения водозаборных сооружений производят, исходя из геологических, гидрогеологических, санитарных условий района и технико-экономических соображений.

Водозаборные скважины и шахтные колодцы широко применяются при эксплуатации как безнапорных, так и напорных подземных вод. Эффективное их использование возможно при залегании водоносного горизонта на глубине не менее 8–10 м и минимальной его мощности 1–2 м. Эффективность их использования возрастает с глубиной залегания вод, при этажном залегании водоносных горизонтов; когда один или несколько из них являются источниками водоснабжения, они становятся незаменимыми.

Горизонтальные водозаборы могут применяться при неглубоком залегании водоносного пласта небольшой мощности. Зачастую их использование позволяет добиться более высокого эффекта в заборе воды, чем при использовании вертикальных водозаборов.

Забор воды из неглубоко залегающих водоносных горизонтов небольшой мощности, а также подрусловых вод возможен *лучевыми водозаборами*, которые широко используются за рубежом и находят все более возрастающее применение в нашей стране.

В местах выхода водоносных горизонтов на поверхность забор воды возможен путем устройства *каптажных сооружений*.

Водозаборная скважина должна быть такой, чтобы обеспечивалась долговечность и защищенность эксплуатационного водоносного горизонта от проникания загрязнений с поверхности земли и притока воды из вышележащих водоносных горизонтов. *Простейшая схема конструкции буровой скважины* приведена на рисунке 4.1.

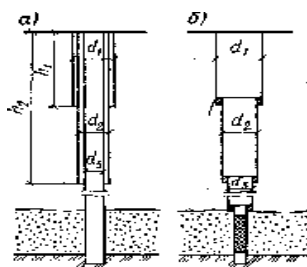


Рисунок 4.1 – Схема буровой скважины при малых глубинах:

а – до установки фильтра; б – после установки фильтра

В этом случае в обсадную трубу диаметром d_1 (рис. 4.2, а), достигшую глубины h_1 , опускается другая труба меньшего диаметра d_2 , которая заглубляется на глубину h_2 .

Скважина крепится обсадными трубами 1. Она опускается до верхней границы залегания водоносных пород 6. В обсадную трубу опускается труба меньшего диаметра 2, которая заглубляется в подстилающий водонепроницаемый слой. Затем в трубу 2 при помощи штанги со специальным замком 4 опускается фильтр 3, после чего труба 2 удаляется, а зазор 5 между стенками фильтровой и обсадной трубы герметизируется. При большой глубине скважин (в зависимости от способа бурения) достичь требуемой отметки обсадной трубой одного диаметра не удастся.

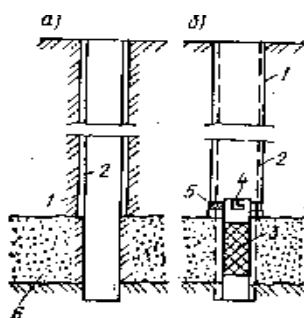


Рисунок 4.2 – Схема буровой скважины при больших глубинах

Заглубление трубы определяется, исходя из сопротивления пород ее продвижению и технологических соображений. Путь, пройденный колонной обсадных труб одного диаметра, называется *выходом колонны*. Дальнейшее углубление скважины достигается с помощью обсадных труб меньшего диаметра d_3 и т.д. Разница между диаметрами предыдущей и последующей колонн обсадных труб должна быть не менее 50 мм. Выход колонны зависит от гранулометрического состава породы и способа бурения. При *ударно-канатном способе* он составляет 30–50 м и лишь для устойчивых пород может достичь 70–100 м. При *ротормом бурении* выход увеличивается до 300–500 м, что значительно упрощает конструкцию скважины, сокращает расход труб и ускоряет процесс бурения.

При телескопическом устройстве скважины с целью экономии обсадных труб производится *обрезка внутренних колонн труб* (рис. 4.2, б). Верхний обрез обсадной трубы, остающейся в скважине, должен находиться выше башмака предыдущей колонны не менее чем на 3 м.

Кольцевой зазор между оставшейся частью колонны вырезанных труб и предыдущей колонной обсадных труб цементируют либо заделывают, устраивая сальник.

Фильтры во многом определяют надежность работы водозаборного

сооружения, так как должны обеспечивать свободный доступ воды в скважину, устойчивую работу скважин в течение длительного времени, защищать ее от пескования при минимальных гидравлических потерях, а в случае кольматажа его поверхности допускать возможность проведения восстановительных мероприятий. Кроме того, они должны обладать устойчивостью против химической, электрохимической коррозии.

Фильтр состоит из *рабочей* (водоприемной) *части*, *надфильтровых труб* и *отстойника*. Длина надфильтровых труб зависит от конструкции скважины. Если фильтр располагается на колонне, то надфильтровые трубы являются ее продолжением. Если фильтр имеет меньший диаметр, то надфильтровые трубы входят внутрь эксплуатационной колонны не менее чем на 3 м при глубине скважины до 50 м и не менее чем на 5 м при большей глубине. В зазор, образовавшийся между ними, устанавливается сальник из резины, пеньки, цемента и др. При определенных условиях роль сальника выполняет слой гравия, засыпаемого между эксплуатационной колонной и фильтром. Высота отстойников в фильтрах, как правило, принимается равной 0,5–2 м.

Шахтный колодец представляет собой вертикальную выработку глубиной до 20–30 м круглой, квадратной или прямоугольной формы. Колодцы используются для забора воды из безнапорных или малонапорных водоносных пластов в системах водоснабжения небольших промышленных предприятий и населенных пунктов. Они состоят из следующих *конструктивных элементов*: оголовка (2), ствола (4), водоподъемной части (5) и водосборной части (6) – зумпфа (рис. 4.3).

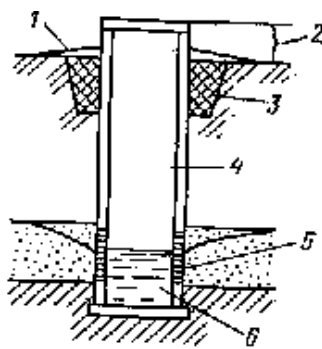


Рисунок 4.3 – Схема шахтного колодца:

1 – отмостка; 2 – оголовок; 3 – замок; 4 – ствол шахты;
5 – водопроводная часть; 6 – зумпф

Оголовок служит для защиты колодца от попадания в него загрязненных вод и поэтому должен возвышаться над поверхностью не менее чем на 0,8 м. Сверху он перекрывается крышкой, а вокруг колодца устраиваются глиняный замок на глубину 1,5 м и отмостка для отвода воды.

По условиям забора воды из водоносного пласта колодцы подразделяются на *работающие дном*, *работающие стенками* и *работающие одновременно дном и стенками*. Способ приема воды, а также вид и состав пород водоносного пласта определяет то или иное устройство водопроницаемой фильтрующей поверхности колодца. Дно колодца при приеме воды через него оборудуют гравийным фильтром или плитой из пористого бетона. В стенках колодца при приеме воды через них должны быть устроены специальные окна, заполненные гравийным фильтром или пористым бетоном.

Зумпф предусматривается при необходимости создания в колодце некоторого запаса воды.

Горизонтальные водозаборы позволяют эксплуатировать маломощные водоносные пласты. Они особенно эффективны при расположении вблизи рек, озер и водохранилищ. Они появились значительно раньше вертикальных водозаборов в странах с засушливым жарким климатом. В разных странах они называются по-разному: кяриз, канат, фоггара.

Горизонтальные водозаборы применяют при глубине залегания водоносных пород до 8 м, устраивают их бестраншейным способом. В скальных породах горизонтальные водозаборы выполняют на любой глубине в виде водосборных штолен.

Современные горизонтальные водозаборы, как правило, представляют собой водосборную траншею или водосборную галерею, оборудованную соответствующими отверстиями с песчано-гравийным фильтром для приема воды. Гранулометрический состав отдельных слоев обратного фильтра определяется расчетом. Отвод воды к месту расположения водозаборных устройств производится по лоткам, расположенным в нижней части. Для осмотра, вентиляции и ремонта в процессе эксплуатации водозабор оборудуется смотровыми колодцами.

Водосборные колодцы, куда поступает собранная вода, оснащаются насосными установками. В них производят замер дебита, отбор проб, осаждают взвешенные частицы.

Если водоносный пласт питается из реки, то горизонтальный водозабор располагается параллельно урезу воды в ней. При заборе подземных вод со склона долины они располагаются вдоль ее тальвега, а при движении воды вдоль оврагов – поперек оврага. Устройство горизонтального подруслового водозабора позволяет организовать забор больших количеств воды.

Вид устройств для захвата воды зависит от гидрогеологических и инженерных условий.

Простейшим типом горизонтального водозабора является *открытый*

дренажный канал – водосборник; применяется для промышленного водоснабжения и строится в виде открытой траншейной выработки, откосы которой оборудованы песчано-гравийным фильтром.

При заборе небольших количеств воды для мелких потребителей и временного водоснабжения, а также при глубине залегания подземных вод 2–3 м от поверхности земли применяют *траншейные водозаборы*, каменно-щебеночный водозабор (рис. 4.4, а) выполняют в траншее, укладывая фильтрующие материалы, размер которых увеличивается к середине траншеи. Соотношение диаметров частиц смежных слоев обсыпки и частиц верхнего слоя подбирают так, как для обсыпки фильтров скважинных водозаборов. Сверху обсыпку покрывают слоем глины, а затем вынутым из траншеи грунтом. Толщину каждого фильтрующего слоя принимают не менее 150 мм, ширину назначают, исходя из конструктивных особенностей водозабора и условий проведения работ, в пределах 0,8–1,2 м.

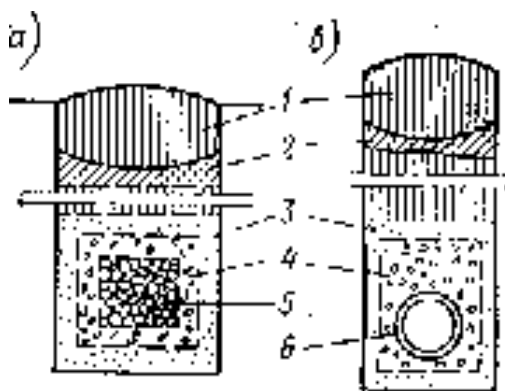


Рисунок 4.4 – Траншейные водозаборы:

- 1 – обратная засыпка траншеи местным грунтом; 2 – глина; 3 – крупные пески; 4 – гравий;
5 – рваный камень; 6 – дренажная труба

Трубчатые горизонтальные водозаборы (рис. 4.4, б) устраивают при глубине залегания подземных вод до 4–5 м. В отличие от каменно-щебеночного водозабора водоприемную часть выполняют из керамических, асбестоцементных, железобетонных, бетонных и пластмассовых труб, которые обсыпают фильтрующим материалом. В водоприемных трубах устраиваются круглые или щелевидные отверстия, расширяющиеся внутрь трубы, а в трубах больших диаметров – окна-ниши. В остальном устройство водозабора аналогично предыдущему виду. Начинают использовать трубы из пористого бетона и полимербетона, для которых не нужны фильтрующие обсыпки или достаточно устройство одного слоя.

Оценку дебита горизонтальных водозаборов вдоль русла реки производят по следующим зависимостям:

в напорном потоке

$$Q = \frac{4\pi kmS_0}{R + \xi}; \quad (4.1)$$

в безнапорном потоке

$$Q = \frac{\pi k(2h_e - S_0)S_0}{R + \xi}, \quad (4.2)$$

где Q – расход горизонтального водозабора;

k – коэффициент фильтрации водоносных пород;

m – мощность напорного пласта;

h_e – начальная глубина грунтового потока;

S_0 – понижение уровня подземных вод на водозаборе;

R – гидравлическое сопротивление водозабора;

ξ – показатель фильтрационного несовершенства горизонтального водозабора.

Инфильтрационные водозаборные сооружения широко используются для захвата фильтрационных вод из природных поверхностных источников (рек, озер и т.п.) и из искусственно созданных водохранилищ, каналов и т.д.

Вода, фильтруясь через ложе источника, насыщает поры между зернами грунта и превращает его в водоносный пласт, пригодный для целей водоснабжения.

Рассмотренные ранее водозаборные сооружения, забирающие воду из таких пластов, рассматриваются как инфильтрационные. В этих условиях водоприемники водозаборных сооружений располагаются либо параллельно берегу водоема (береговые водозаборы), либо под их руслом (русловые водоприемники). Применение инфильтрационных водозаборов имеет большие преимущества. Во-первых, забираемая вода, пройдя через естественный фильтр, освобождается от взвеси, которая находится в поверхностной воде; во-вторых, понижается цветность воды; в-третьих, улучшается ее санитарное качество; в-четвертых, облегчаются условия забора воды из шугоносных рек. Кроме того, применение инфильтрационных водозаборов позволяет забирать воду из водоисточников с малыми глубинами, а также из рек с неустойчивыми руслами.

Контрольные вопросы:

1. Какие бывают поверхностные водозаборы?
2. Расскажите про водозаборные сооружения подземного типа.

ТЕМА 5 Водоснабжение населенных пунктов. Построение суммарного графика водоснабжения и определение расчетных расходов водопровода, который проектируется. Режим работы водопроводных сооружений

5.1 Водоснабжение населенных пунктов. Построение суммарного графика водоснабжения и определение расчетных расходов водопровода, который проектируется

Расчетные суточные расходы воды принимаются в основу расчета всей системы подачи и распределения воды (включая сети). Для расчета системы весьма важен также учет неравномерности расходования воды в течение суток. Режим работы сетей и непосредственно связанных с ними сооружений (насосов II подъема, водоводов и регулирующих емкостей) определяется режимом отбора воды из водопроводной сети объектом в отдельные периоды суток.

Режим отбора воды населением является в значительной степени случайным и неуправляемым процессом. Между тем чтобы возможно более точно и экономично запроектировать систему подачи и распределения воды, необходимо задаться некоторыми «расчетными» графиками отбора воды из сети в течение суток, наиболее близкими к действительным. Единственная возможность получения таких графиков — изучение и анализ действительных графиков водопотребления населенных пунктов, наиболее близких по климатическим и демографическим условиям, по численности населения и по степени санитарно-технического благоустройства жилищ к тому населенному пункту, для которого разрабатывается проект. Если проект составляется для расширения сети водоснабжения, уже существующей в данном городе, следует использовать данные о его фактическом режиме водопотребления.

Одной из задач проектировщика является изучение и анализ возможно большего числа графиков водопотребления аналогичных объектов за возможно более длительные сроки и выбор из них наиболее близких для проектируемого объекта и наиболее характерных для суток наибольшего, среднего и наименьшего водопотребления.

Большое значение для правильного установления расчетных расходов воды имеет учет возможных максимальных часовых расходов. Максимальный часовой расход (Q'_{\max}) в сутки наибольшего водопотребления определяет наибольшую вероятную нагрузку сети за расчетный год, а средний (Q'_{mid}) — может быть использован для оценки расходов энергии на подачу воды.

Для удобства инженерных расчетов расход воды в течение часа условно считают постоянной и после упрощения этого графика получают ступенчатый график водопотребления как модель действительного графика водопотребления.

Суммарный график водопотребления — это сумма отдельных графиков водопотребления каждого жителя населенного пункта. Очевидно, чем больше

жителей в населенном пункте, тем равномернее водопотребления в течение суток, и, наоборот, чем их меньше, тем больше неравномерность водопотребления. Объясняется это тем, что каждый житель потребляет воду в своем режиме: чем больше жителей, тем меньше одновременность потребления воды. И наоборот, чем меньше жителей, тем больше одновременность потребления воды и большая неравномерность водопотребления и тем выразительные «пики» на графике, как правило, утром и вечером. Если часовые расходы воды брать в процентах от суточного расхода, то четко видна зависимость величины этих пиков от количества проживающих в населенном пункте. Таким образом, для разных по величине населенных мест можно получить разные по форме суточные графики водопотребления, которые называют типовыми или расчетными. Для характеристики этих графиков используют коэффициенты часовой неравномерности ($K_{\text{ч}}$).

Для суток максимального водопотребления максимальный коэффициент часовой неравномерности водопотребления составляет:

$$K_{\text{max}}^{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{max}}^{\text{ч}}}{Q_{\text{mid}}^{\text{ч}}}, \quad (5.1)$$

где $Q_{\text{max}}^{\text{ч}}, Q_{\text{mid}}^{\text{ч}}$ – соответственно максимальный и средний часовые расходы воды.

Теоретически $K_{\text{max}}^{\text{ч}} = \alpha_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{max}}$, и в соответствии с этим значением можно выбрать типовой график водопотребления на хозяйственно – питьевые нужды в селитебной зоне. Очевидно, что чем меньше населенный пункт, тем больше неравномерность водопотребления и тем больше $K_{\text{max}}^{\text{ч}}$, и, наоборот, с увеличением числа жителей в населенном месте уменьшается неравномерность водопотребления и $K_{\text{max}}^{\text{ч}} \rightarrow 1$.

Суммарные графики служат основой для расчета сети. В соответствии с этими графиками назначают графики подачи воды насосами, определяют схемы питания сети от насосов и от башни. График может отображать либо расход воды (л/с), либо расход электроэнергии (кВт), пунктирная линия указывает среднечасовое значение расхода воды или энергии, соответственно. Расход электроэнергии будет указан на насосных станциях и на резервуарах чистой воды, у которых присутствуют насосы.

Расход электроэнергии (кВт) рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{QH}{102\eta}, \quad (5.2)$$

где Q – расход сетевой воды через насос, л/с;

H – напор, развиваемый насосом при расходе Q , м;

η – коэффициент полезного действия (КПД) насосного агрегата.

Для построения графиков, удобно использовать ЭВС со специализированным программным обеспечением, к примеру ZuluHydro (рис. 5.1).

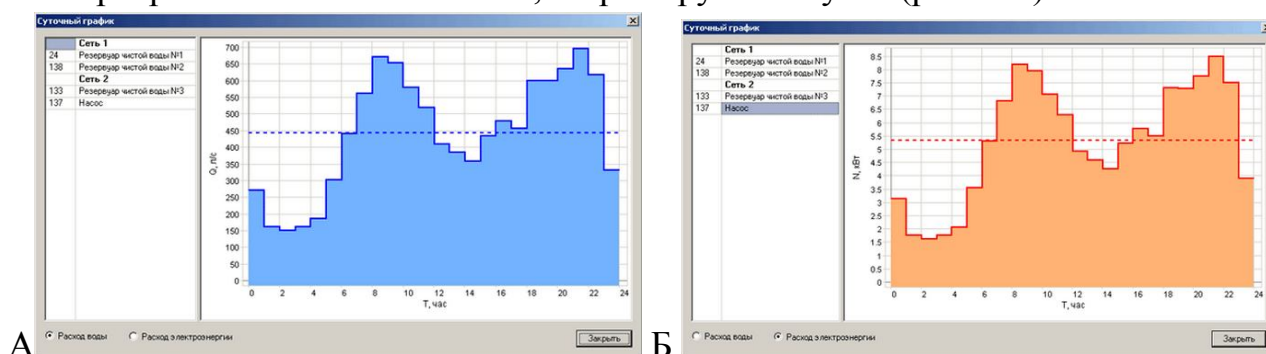


Рисунок 5.1 – Суточные графики потребления:

А – Расход воды; Б – Расход электроэнергии

Расчетные данные удобно представлять в таблице в виде процентов потребления по часам в сутках (рис. 5.2).

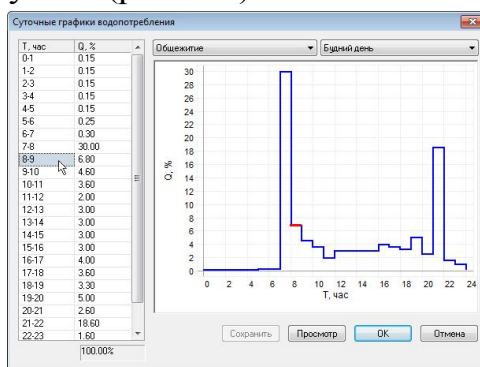


Рисунок 5.2 – Суточный график водопотребления

Так как из городского водопровода отбираются кроме расхода на хозяйственно-питьевые нужды населения расходы воды на нужды промышленных предприятий и на поливку, а также происходят некоторые потери воды, полный график расхода воды по часам суток следует строить с учетом всех этих расходов и вероятной степени их колебания в течение суток.

Для всех указанных категорий водопотребления должны быть составлены графики потребления воды в течение суток. Ординаты этих графиков складывают с ординатами основного графика потребления воды городом и в результате получают суммарный график расходования воды из сети городского водопровода. Ординаты складываемых графиков, так же как и ординаты суммарного графика, должны быть выражены в процентах общего суммарного расхода воды городом.

Таким образом, при проектировании водопровода график суммарного водопотребления на хозяйственно-питьевые, производственные, противопожарные и другие нужды позволяет определиться с составом сооружений, необходимых для обеспечения надежной подачи воды всем водопользователям в необходимом количестве и с требуемым давлением.

5.2 Режим работы водопроводных сооружений

Режим водопотребления – это процесс использования воды потребителями, рассматриваемый в разрезе времени. Для промышленных предприятий режим водопотребления на технологические нужды устанавливается технологами основного производства в зависимости от вида технологического процесса. Для селитебной зоны установить заранее абсолютно точное значение расхода воды на любой момент времени невозможно. Не существует сегодня строгой аналитической формулы, которая бы давала возможность вычислить точное значение расхода воды как функцию времени, степени сантехнического благоустройства, этажности застройки, местных факторов, связанных с жизнью и трудовой деятельностью жителей, и др. факторов, которых так много, что расходы воды в населенном пункте можно оценить только статистическими методами. Вот почему водопотребление населенного пункта надо рассматривать как случайный процесс. Водопотребление в математическом отношении расхода воды – это случайная величина, которая имеет свой закон распределения. Если воспользоваться математической статистикой и теорией случайных процессов, то можно сделать математическое представление режима водопотребления на основе статистических данных. Но такое представление достаточно сложное и не используется в инженерных расчетах. Для инженерных расчетов используют так называемые типовые графики водопотребления.

Водопроводная сеть работает в режиме водопотребления. Как уже отмечалось, это случайный процесс. Подавать воду насосной станцией второго подъема точно по случайному графику водопотребления, имея детерминированный набор центробежных насосов, практически невозможно. Это возможно только тогда, когда центробежные насосы имеют регулируемый электрический привод. Практически нет возможности подать воду в водопроводную сеть точно по графику водопотребления. А отсюда между режимом водоподачи НС-2 и режимом водопотребления является несоответствие, т.е. эти режимы не совпадают. Так что НС-2 через напорные водоводы связана с водопроводной сетью; необходимо достичь соответствия этих режимов иначе этот комплекс работать не будет. Чтобы компенсировать несоответствие режимов водоподачи и водопотребления, на стыке этих сооружений вводят гидравлический аккумулятор – водонапорную башню, которая в течение некоторого времени накапливает воду, а в другое время отдает ее потребителям через водопроводную сеть.

Работает водонапорная башня так: в первом случае – подача воды НС-2 больше, чем водопотребление – остаток воды поступает в бак водонапорной башни; во втором случае подача воды НС-2 меньше, чем водопотребления в

водопроводной сети – нехватка воды компенсируется запасом воды из водонапорной башни. Поэтому в водопроводную сеть поступает уже нужное количество воды. Поскольку 1 м^3 воды, накопленной в водонапорной башне, соответствуют большие капиталовложения, чем 1 м^3 воды, накопленной в РЧВ, то экономически выгодно принять такой режим водоподачи НС-2, чтобы объем бака водонапорной башни был как можно меньше. Наименьшее значение этого объема равно нулю в том случае, когда режимы водоподачи и водопотребления полностью совпадают. Поскольку практически невозможно реализовать такой режим водоподачи НС-2, желательно приблизить этот режим к режиму водопотребления. Вот почему режим работы НС-2 принимают ступенчатым. Как правило, принимают две или три степени. Если взять больше степеней, то насосной станцией уже трудно будет управлять в эксплуатации.

Напорные водоводы работают в режиме водоподачи НС-2. Диаметры труб этих водопроводов принимают за расходом воды большей степени. При работе НС-2 на меньшей степени напорные водопроводы работают не на полную мощность, то есть они недогружены в отдельные часы суток. И если длина напорных водопроводов значительная (десятки километров), то может показаться, что экономически выгоднее принять равномерную подачу воды НС-2. При этом увеличится объем бака водонапорной башни и капитальные вложения в ее строительство, но уменьшится диаметр труб напорных водопроводов, так как они будут рассчитаны на пропуск среднечасовой расход воды. Вот почему равномерную водоподачу принимают в групповых водопроводах, где длина напорных водопроводов достигает сотен километров.

Очистные сооружения работают равномерно в течение суток. Причин для этого две. Во-первых, все химические и технологические процессы очистки воды идут лучше тогда, когда вода проходит через очистные сооружения равномерно. Во-вторых, экономически выгодно расчет очистных сооружений выполнять на среднечасовой расход воды. В этом случае размеры сооружений будут минимально возможные и капитальные вложения в строительство этих сооружений будут также минимальны.

Водозаборные сооружения и насосная-1 работают в равномерном режиме. Вызвано это тем, что НС-1 обеспечивает подачу воды на очистные сооружения, которые работают равномерно в течение суток. Так как режимы работы очистных сооружений и НС-2 отличаются, нужно состыковать эти режимы. Делают это с помощью второго гидравлического аккумулятора в системе водоснабжения – РЧВ. Последние компенсируют несоответствие режимов работы очистных сооружений (НС-1) и НС-2. Выполняются они аналогично водонапорной башне. То есть в отдельные часы накапливают остаток воды, а в другие выдают недостающее количество воды на насосы НС-2.

Таким образом, система водоснабжения – это комплекс взаимно связанных (водой) и взаимно действующих сооружений: изменение режима водопотребления вызывает изменения в работе всей цепи сооружений водопроводного комплекса.

Контрольные вопросы:

1. График водопотребления.
2. Что такое коэффициент неравномерности?
3. Что такое режим водопотребления?

ТЕМА 6 Водопроводная сеть, ее трассировка. Зонные системы водоснабжения

6.1 Водопроводная сеть, ее трассировка

Водопроводная сеть представляет собой совокупность трубопроводов, по которым вода транспортируется потребителям.

Она состоит из водоводов, магистральной сети и распределительных трубопроводов. Для транспортирования воды от водоприемника к очистным сооружениям и от регулирующих емкостей к магистральной сети прокладывают водоводы. Их проектируют не менее чем в две линии. Количество линий водоводов выбирают на основании технико-экономического расчета с учетом стоимости мероприятий по обеспечению бесперебойности водоснабжения потребителей. При этом необходимо учитывать, что при отключении одного водовода или его части в систему водоснабжения должно быть подано не менее 50% расчетного расхода водопотребления населения и обеспечена работа промышленных предприятий по аварийному графику.

При проектировании водовода в одну линию необходимо предусматривать запасные емкости с запасом воды на время ликвидации аварии на водоводе и обеспечения расхода на пожаротушение. В это время в сеть города необходимо подавать 50% расчетного расхода в городе и обеспечивать подачу воды на промышленные предприятия при их работе по аварийному графику. Резервуары подразделяются на активные (напорные) и пассивные (безнапорные) (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Схема временного резервирования с устройством в конце водовода РЧВ

Запас воды в резервуаре должен обеспечивать подачу воды на время ликвидации аварии на водоводах в одну нить.

При прокладке водоводов в несколько линий без перемычек все линии равномерно участвуют в подаче воды.

Наибольшую надежность обеспечивает прокладка водоводов в несколько линий с перемычками между ними.

Обычно водоводы прокладываются в две линии с перемычками (рис. 6.2). Устройство перемычек позволяет при авариях отключать только поврежденные участки. Расстояние между перемычками 1–2 км. При отключении одного водовода или его участка общую подачу воды объекту на хозяйственно-питьевые нужды допускается снижать не более чем на 30% расчетного расхода, на производственные нужды – по аварийному графику. Расстояние между нитями водовода обычно принимается 30–50 м.

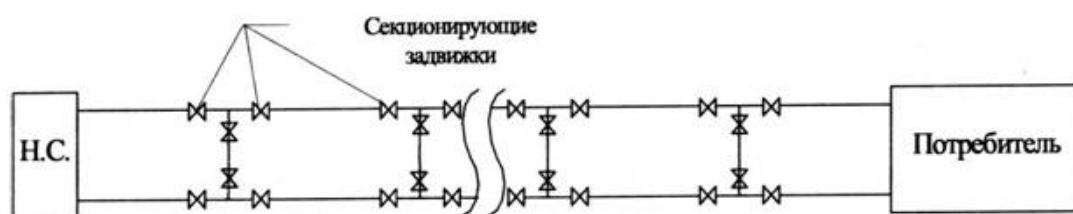


Рисунок 6.2 – Схема водоводов с перемычками

Трассу водовода выбирают из условия подачи воды к потребителю по кратчайшему направлению, по возможности она должна иметь минимальное количество искусственных сооружений и быть доступной для обслуживания. Исходя из этого, водоводы рекомендуется прокладывать вблизи существующих или проектируемых автодорог. Трасса водоводов не должна проходить по территории свалок, кладбищ и скотомогильников. При прокладке нескольких линий водоводов расстояние между ними рекомендуется принимать не менее 5 м при диаметре труб до 300 мм и 10 м – при диаметре труб более 300 мм.

На территории города водоводы прокладывают по разным улицам по одной из ее сторон и присоединяют к магистральной сети в двух различных точках. Точки присоединения соединяют между собой трубопроводом диаметром, равным диаметру водовода.

По начертанию в плане различают два основных вида сетей: тупиковые (рис. 6.3, а) и кольцевые (рис. 6.3, б).

Тупиковые сети в оптимальном варианте обеспечивают подачу воды к потребителю по кратчайшему пути, но не полностью удовлетворяют требование бесперебойности водоснабжения. Поэтому, как правило, в городах и на промышленных предприятиях проектируют кольцевые водопроводные сети.

Кольцевые сети имеют несколько большую протяженность, но обеспечивают более высокую степень надежности и бесперебойности подачи

воды к потребителю, чем тупиковые.

Тупиковые водопроводные сети разрешается применять для снабжения водой объектов, допускающих перерыв в водоснабжении на время ликвидации аварии, и в населенных пунктах с населением до 500 человек.

Линии водопроводной сети в зависимости от их назначения можно разделить на магистральные и распределительные.

Магистральными называют линии, которые предназначены в основном для транспортирования воды по территории населенного пункта.

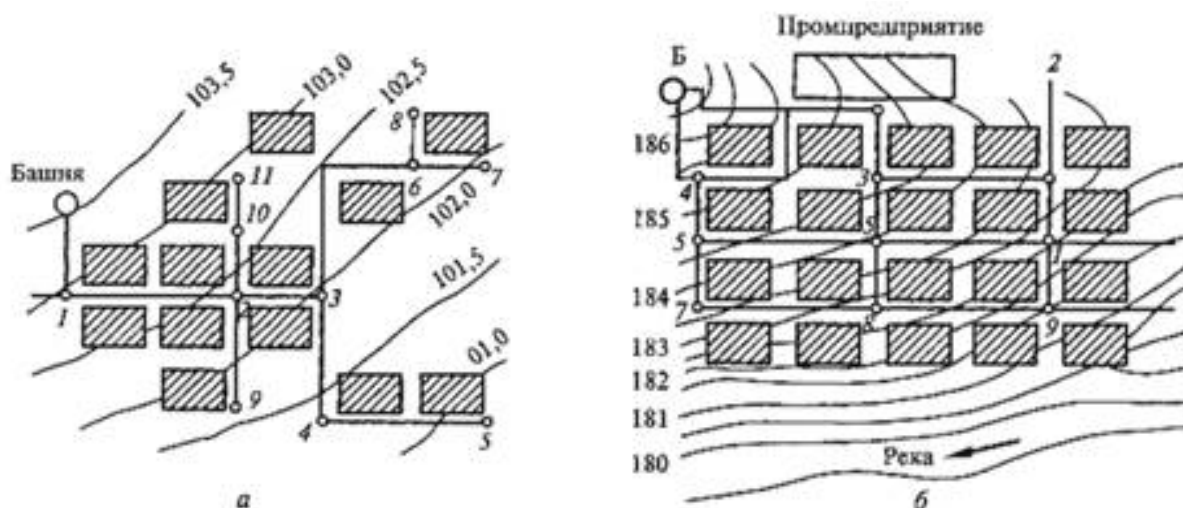


Рисунок 6.3 – Схемы водопроводных сетей:

а – тупиковая; б – кольцевая;

1 – 11 – расчетные колодцы водопроводной сети

Распределительными называют линии, которые получают воду из магистральных линий и подают ее к потребителям через центральные пункты или домовые вводы. При этом, как правило, гидравлический расчет производят только для магистральных линий. Минимальный диаметр распределительных линий городского хозяйственно-противопожарного водопровода принимается не менее 100 мм и диктуется в основном расходом воды на пожаротушение.

При проектировании магистральной сети руководствуются следующими соображениями:

- кольца, образуемые транзитными магистралями и перемычками, должны иметь вытянутую форму в направлении основного движения воды;
- по основному направлению движения воды должно быть проложено несколько параллельных магистральных линий. С точки зрения экономики число параллельно работающих транзитных магистралей должно быть по возможности наименьшим, однако чтобы обеспечить бесперебойность водоснабжения, количество транзитных линий должно быть не менее двух;
- магистральные линии водопроводных сетей рекомендуется трассировать по наиболее возвышенным отметкам территории для создания

достаточных напоров в распределительной сети;

- магистральная сеть должна охватывать всех крупных потребителей и подавать воду к регулирующим емкостям. Крупные потребители и регулирующие емкости должны иметь не менее двух присоединений по возможности от магистральных линий смежных колец;
- на крупных магистральных линиях рекомендуется устраивать сопроводительные линии в тех случаях, когда транзитный расход составляет не менее 80% суммарного расхода;
- водопроводные линии располагают в проездах по одной из сторон, по возможности вне бетонных или асфальтовых покрытий, прямолинейно и параллельно линии застройки. Трубопроводы должны пересекать проезды под прямым углом.

Опыт проектирования магистральных сетей показывает, что оптимальное расстояние между магистральными линиями составляет 300–600 м. Соответственно расстояние между перемычками принимается равным 400–800 м. Диаметры трубопроводов (перемычек), соединяющих магистральные линии, должны назначаться с учетом работы их при аварии на магистральной линии, так как при нормальной работе они несут весьма малую нагрузку. Обычно диаметр трубопровода перемычки назначается на один-два размера меньше диаметра магистральной линии.

Основную нагрузку по распределению воды по площади объекта несут магистрали, а перемычки играют значительную роль в случае аварий. К магистралям и перемычкам примыкают распределительные (второстепенные) линии, непосредственно осуществляющие отдачу воды во внутренние водопроводы домов. Таким образом, структура кольцевой сети имеет высокую степень резервирования путей подачи воды, а следовательно и высокую надежность.

При трассировке магистральных линий необходимо учитывать строительно-эксплуатационные условия и увязывать трассы магистральной сети с размещением других сетей и сооружений городского хозяйства.

Выбирая трассу водопроводной линии, необходимо соблюдать минимальные расстояния от наружной поверхности трубопровода до различных подземных коммуникаций в соответствии с требованиями ДБН. Глубину заложения водоводов и водопроводных сетей следует принимать с учетом исключения возможности замерзания воды в зимний период и недопустимого нагрева в летний период. Минимальную глубину заложения трубопроводов, считая от низа труб, принимают на 0,3–0,5 м больше расчетной глубины промерзания грунта.

Требования к размещению водопроводных сетей (расстояние от

трубопровода не менее):

- до оси железнодорожного пути – 4 м (но не менее глубины траншеи);
- до оси трамвайных путей – 2,75 м;
- до бордюрного камня автодороги – 2 м;
- до кабелей связи – 1,5 м;
- до газопровода – 1,2 м;
- до электрокабеля напряжением до 35 кВ – 1 м;
- до опор наружного освещения, связи, контактной сети транспорта – 1,5 м;
- до ограждений территорий – 1,5 м;
- до линии воздушных опор линий электропередачи $V \leq 35$ кВ – 2 м, $V > 35$ кВ – 3 м;
- до фундаментов зданий и сооружений > 5 м (при соответствующем обосновании допускается 3 м, но с обязательным заключением в футляр);
- до стволов деревьев – 2 м.

Расстояние между сетями по горизонтали:

- до дренажных линий и водостоков – 1,5 м;
- к газопроводам: до 0,3 МПа – 1 м; 0,3–0,6 МПа – 0,5 м; более 0,6 МПа – 2 м;
- до силовых кабелей – 0,5 м;
- до кабелей связи – 0,5 м;
- до теплотрасс – 1,5 м;
- до канализационных сетей при диаметре водопроводных труб:
до 200 мм – 1,5 м; более 200 мм – 3 м.

Довольно часто встречается проблема отсутствия корректной исполнительной документации на сети и участки различных инженерных коммуникаций и подземных трубопроводов. В таких случаях их местоположение определяют при помощи трассировки водопроводных сетей, канализации, тепловых сетей, водостоков, высоковольтных кабелей:

- трассировка металлических труб (водопровода, тепловой сети) выполняется с использованием трассопоисковых комплектов;
- трассировка неметаллических (пластиковых, керамических, железобетонных) труб – акустическим методом;
- трассировка канализации – с помощью оборудования телеинспекции и специализированных зондов.

В результате работ составляется схема участка и определяется трасса на местности, указываются затерянные колодцы. Проведение подобных работ требуются как эксплуатирующим организациям, так и застройщикам, поскольку позволяет определить местонахождение всех коммуникаций на определенной площади.

При проведении трассировки трубопровода всегда учитывают важные факторы:

- состав почвы, ее особенности, а также рельеф местности;
- рассчитывают и прогнозируют глубину трубопровода;
- учитывают тип застройки данной местности: промышленная или жилая зона;
- диаметры труб, наличие и размеры колодцев, растений.

В процессе проведения трассировки водопроводной сети, канализации и др. трубопроводов обнаруживаются затерянные колодцы, повороты, неизвестные ранее абонентские присоединения. В результате определения трассы составляется схема местоположения сетей с привязкой к существующим объектам и зданиям (рис. 6.4). Также может быть определена глубина заложения коммуникаций в различных точках, что позволяет наиболее аккуратно проводить земляные работы, без повреждения нанесённых на схемы кабелей и труб. Используя техническое заключение, можно подбирать места для новых врезок и подключений, осуществляя локальные раскопки.

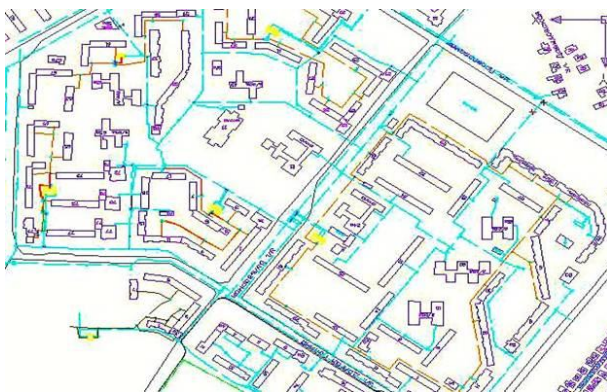


Рисунок 6.4 – Схема местоположения сетей с привязкой к существующим объектам и зданиям

6.2 Зонные системы водоснабжения

Основным принципом, по которому проектируются и строятся современные системы водоснабжения, является устройство централизованных систем водоснабжения. Создание единого водопровода, охватывающего всех потребителей обслуживаемого объекта или района, как правило, обеспечивает наименьшие затраты средств на сооружение и эксплуатацию системы подачи и распределения воды. Однако в ряде случаев наличие разнородных требований, которые предъявляют отдельные группы потребителей к системе водоснабжения, делает целесообразным вместо единой системы устраивать несколько более или менее самостоятельных систем водоснабжения для обслуживания соответствующих групп потребителей. При этом учитывается различие требований отдельных потребителей к напорам, характер планировки снабжаемых водой объектов и рельеф местности, а в ряде случаев и различие

требований к степени водоподготовки.

Снабжение водой подобных объектов обуславливает необходимость производить группировку потребителей по их требованиям к напорам и соответственно разделить единой централизованной системы водоснабжения. Такое разделение единой системы водоснабжения на отдельные системы для каждой группы потребителей принято называть зонированием систем водоснабжения, а сами системы – зонными.

Зонирование водопровода может быть вызвано как техническими, так и экономическими соображениями, так как оно позволяет снизить давление в трубах водопроводных сетей и уменьшить количество энергии, затрачиваемой на подъем воды.

По чисто техническим соображениям необходимость зонирования и число зон принимают исходя из требований не превышать расчетный напор допускаемый техническими условиями эксплуатации водопровода.

В соответствии с указаниями свободный напор в сетях хозяйственно-питьевого водопровода не должен превышать 60 м. Эти требования устанавливают в зависимости от материала и типа труб и условий эксплуатации сети.

Необходимость зонирования водопроводной сети может быть определена из следующего выражения:

$$H_{\max} = 9,81 \cdot [(z_{\text{к.т.}} - z_{\text{н.т.}}) + H_{\text{св}} + h_{\max}] \quad (6.1)$$

где $z_{\text{к.т.}} - z_{\text{н.т.}} = \Delta z$ – максимальная разность отметок точек, где в критической точке должен быть обеспечен требуемый свободный напор $H_{\text{св}}$ или в наиболее низко расположенной точке в начале сети, м; h_{\max} – максимальная потеря напора от начала сети до критической точки, м. Если полученная величина H_{\max} превышает допускаемую величину свободного напора в сети, то зонирование необходимо.

Когда отдельные точки снабжаемой водой территории имеют значительную разность отметок, то в пониженных точках водопроводной сети могут возникнуть давления, превышающие допустимые для используемых типов труб и условий эксплуатации водопровода.

Если полученное значение превышает допустимый напор, то необходимо разделить сеть на зоны с таким расчетом, чтобы в пределах каждой из них напор не превышал допустимого.

Зонирование может быть осуществлено по «последовательной» или по «параллельной» схеме. В первом случае отдельные зоны соединяются последовательно (рис. 6.5), во втором случае зоны включены параллельно (рис. 6.6).

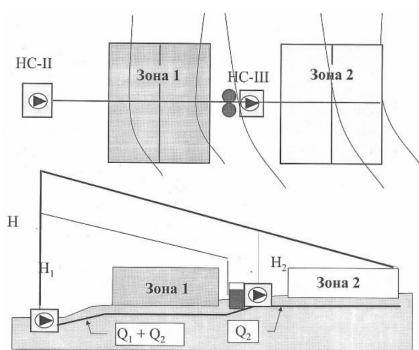


Рисунок 6.5 – Схема последовательного зонирования

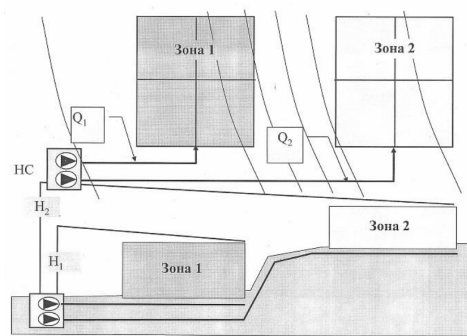


Рисунок 6.6 – Схема параллельного зонирования

При последовательном зонировании общая водопроводная сеть объекта делится на две последовательно соединенные сети. Граница между зонами определяется значением наибольшего допустимого в сети напора.

Напор в сети нижней зоне также не должен превышать допустимый.

Вода подается головной насосной станцией в количестве $Q_1 + Q_2$, обеспечивающем потребности обеих зон, и под напором H_1 , рассчитанным на подъем воды до границы между зонами. Здесь устанавливается насосная станция НС-2 верхней зоны. Она берет воду в количестве Q_2 из сети нижней зоны (непосредственно или через регулируемую емкость) и подает ее под напором H_2 в сеть верхней зоны. Таким образом, расход верхней зоны подается транзитом через сеть нижней зоны.

В системах параллельного зонирования принципы разделения общей сети на сети верхней и нижней зоны те же самые, но вода подается в сеть каждой зоны по отдельным водоводам своей группой насосов, расположенной на общей головной насосной станции (рис. 6.6). Таким образом, зоны включаются параллельно.

Водоводы, питающие верхнюю зону, обычно прокладываются через территорию нижней зоны. Насос нижней зоны подает расход Q_1 под напором H_1 , необходимым для этой зоны; насос верхней зоны подает расход Q_2 под значительно большим напором H_2 , так как насосы второй зоны поднимают воду на значительно большую геометрическую высоту, и в величину их напора входят большие потери в водоводах.

При параллельном зонировании значения напоров для первой и второй зоны в точках примыкания водоводов к территориям зон не должны превышать допустимого напора. Следует иметь в виду, что в водоводах, как правило, допустимы давления значительно больше, чем в сетях, к которым присоединяются домовые ответвления.

Если создаваемый напор приводит к чрезмерно большим давлениям в начале единой сети, то устраивают систему обратного зонирования (рис. 6.7).

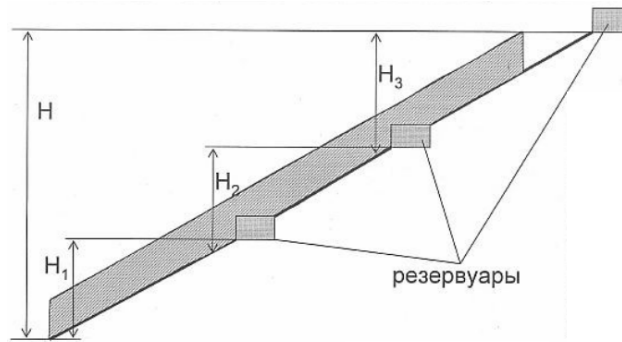


Рисунок 6.7 – Схема обратного зонирования

Экономические расчеты показывают, что при увеличении количества зон уменьшаются затраты энергии на подачу воды.

В незонированной системе водоснабжения весь расход Q подается насосами под напором H , требуемым для создания свободного напора в диктующей точке. Количество затрачиваемой на подачу воды энергии можно определить из выражения

$$\mathcal{E} = \rho g Q H \quad (6.2)$$

Разделив систему водоснабжения на две зоны с высотой $H/2$ и расходом $Q/2$ в каждой из них, определим затраты энергии.

При последовательной системе зонирования:

- для первой станции $\mathcal{E}_1 = \gamma Q H/2$;
- для второй станции $\mathcal{E}_2 = \gamma Q/2 \cdot H/2 = \gamma Q H/4$;

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 3/4 \gamma Q H. \quad (6.3)$$

При параллельном зонировании:

- для первой станции $\mathcal{E}_1 = \gamma Q H/2 \cdot Q H/2 = \gamma Q H/4$;
- для второй станции $\mathcal{E}_2 = \gamma Q/2 \cdot H = \gamma Q H/2$;

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 3/4 \gamma Q H. \quad (6.4)$$

Таким образом, для обеих систем зонирования при разделении сети на две зоны получим уменьшение количества энергии, затрачиваемой на подъем воды, на 25%.

Однако наряду с сокращением эксплуатационных расходов на подъем воды при последовательном зонировании увеличиваются суммарная строительная стоимость насосных станций и стоимость содержания обслуживающего персонала, а при параллельном зонировании – суммарная стоимость водоводов. При любой системе зонирования увеличивается стоимость резервуаров.

Решение о зонировании системы водоснабжения принимается на основании технико-экономического сравнения вариантов. Выбор системы зонирования зависит в основном от конфигурации населенного пункта и рельефа местности.

Параллельное зонирование (рис. 6.8) обычно более рационально для городов с территорией, вытянутой вдоль горизонталей, так как в этом случае длина водоводов от насосной станции до каждой из зон будет сравнительно малой, а при застройке, вытянутой в направлении, перпендикулярном горизонталям, более экономичным является зонирование по последовательной системе (рис. 6.9).

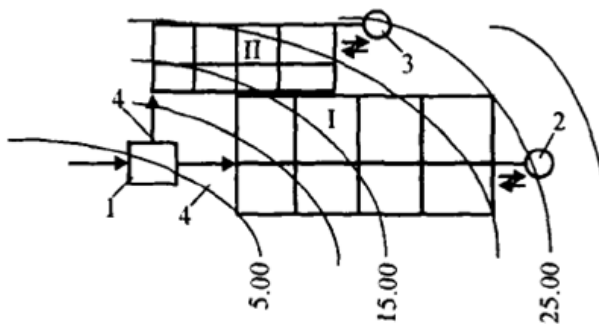


Рисунок 6.8 – Схема параллельного зонирования:

1 – насосная станция; 2 – водонапорная башня зоны; 3 – водонапорная башня зоны; 4 – водоводы

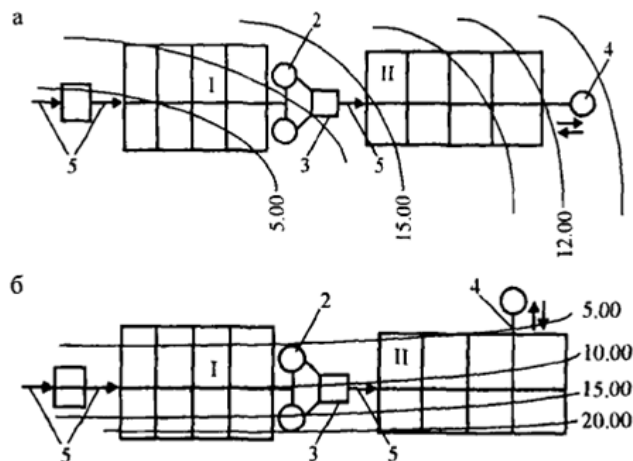


Рисунок 6.9 – Схемы последовательного зонирования:

а – вертикальная; б горизонтальная:

1 – насосная станция первой зоны; 2 – резервуары; 3 – насосная станция второй зоны; 4 – водонапорная башня зоны; 5 – водоводы

При выборе числа зон руководствуются допустимой высотой зоны

$$H_{\max} = (z_{\max} - z_{\min}) + H_{\text{св}} + \sum h_c \quad (6.5)$$

$$\Delta z = (z_{\max} - z_{\min}) = H_{\max} - H_{\text{св}} + \sum h_c$$

где H_{\max} – наибольший допустимый напор в сети, м;

$H_{\text{св}}$ – необходимый свободный напор в диктующей точке, м;

$\sum h_c$ – потери напора в сети в пределах одной зоны, м.

Контрольные вопросы:

1. Что такое водопроводная сеть и из чего она состоит?
2. Чем отличается проектирование водоводов в одну и две линии?
3. По каким принципам проектируются магистральные сети?
4. Какие требования предъявляют к размещению водопроводных сетей?
5. По какому принципу осуществляют зонирование водопроводных сетей?
6. Как осуществляется последовательная схема зонирования?
7. Как осуществляется параллельная схема зонирования?
8. Экономическая целесообразность зонирования систем водоснабжения.

ТЕМА 7 Гидравлический расчет водопроводных сетей

Целью расчета водопроводной сети является определение экономически наивыгоднейших диаметров труб всех ее участков и потерь напора в них. Для нахождения диаметров участков сети необходимо знать расчетные расходы на этих участках.

Для сети, которая подлежит расчету, всегда известны её конфигурация, длины участков и отборы воды в узлах — действительные или фиктивные. Сети, подготовленные к расчету, показаны на рисунке 7.1.

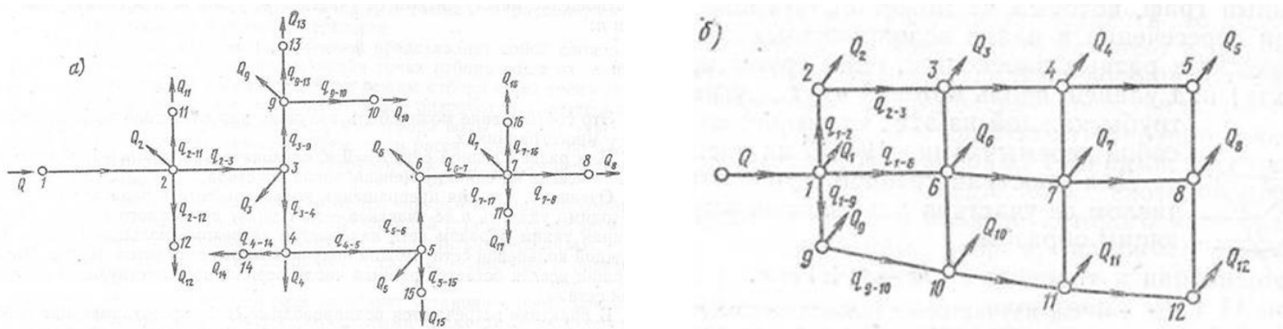


Рисунок 7.1 – Схема водопроводной сети подготовленной для гидравлического расчета:

а – тупиковая водопроводная сеть; б – кольцевая водопроводная сеть

При наличии одного водопитателя и отсутствии нефиксированных отборов подача воды водопитателем также будет известна и равна сумме отборов Q_i .

Для нахождения расходов воды q_{i-k} в p участках сети могут быть использованы уравнения первого закона Кирхгофа, выражающие баланс расходов в узлах, — «узловые расходы»:

$$\sum q_{i-k} + Q_i = 0, \quad (7.1)$$

где i и k — номера узлов.

При этом расходы, приходящие к узлу, условно считают положительными, а уходящие от узла (включая отбор) — отрицательными. Число, уравнений для указанных условий питания сети будет $(m - 1)$, где m — число узлов сети. Для одного из узлов уравнение баланса расходов превращается в тождество, так как сумма всех отборов известна и равна подаче Q . В разветвленной сети всегда $p = m - 1$, и, следовательно, указанного числа узловых уравнений достаточно для определения всех неизвестных q_{i-k} .

Если в узлах разветвленной сети с одним источником питания заданы отборы воды, то расходы во всех ее участках по направлению и величине определяются единственно возможным образом. Это является следствием того

свойства разветвленной сети, что от начального ее узла до любого узла имеется только один возможный путь.

Так, для сети на рисунке 7.1,а, идя от наиболее удаленного узла 8 к начальному узлу 7, можно путем последовательного сложения узловых отборов Q_i получить значения расходов q_{i-k} во всех участках сети. По этим расходам могут быть получены приближенными или точными методами искомые экономически наивыгоднейшие диаметры.

В кольцевых сетях значения расходов воды на участках должны удовлетворять одновременно не только уравнениям первого закона Кирхгофа, но и уравнениям второго закона Кирхгофа. Для водопроводных сетей эти уравнения (контурные) выражают равенство нулю алгебраической суммы потерь напора в каждом из колец сети I :

$$(\sum s_{i-k} q_{i-k}^\beta)_I = 0 \quad (7.2)$$

Число уравнений равно числу элементарных колец сети n . Вместе с $m - 1$ узловыми уравнениями — $n + m - 1 = p$ уравнений для определения p неизвестных расходов в участках.

Из приведенной схемы кольцевой сети (рис. 7.1,б) при заданных узловых отборах можно найти неограниченное число вариантов значений расходов которые удовлетворяли бы уравнению (7.1) во всех узлах. Это является следствием того, что в кольцевой сети между любыми двумя ее узлами можно наметить несколько путей.

В систему уравнений (7.2) кроме неизвестных расходов q_{i-k} входят также неизвестные диаметры участков d_{i-k} , так как величины s_{i-k} выражаются в функции диаметров. Любые изменения диаметров любых участков кольцевой сети неизбежно вызывают перераспределение расходов во всей сети, т.е. изменение расходов во всех ее участках. При любом распределении расходов будут автоматически удовлетворяться уравнения и первого, и второго закона Кирхгофа.

Для одновременного нахождения неизвестных q_{i-k} и d_{i-k} , т.е. всех $2p$ неизвестных, полученных систем уравнений (7.1) и (7.2) недостаточно.

Рассматривая задачу расчета сети без привлечения уравнений экономичности, т.е. не обращаясь к методам полного технико-экономического расчета, приходим к заключению, что ее решение возможно лишь при условии, если предварительно зададимся значениями неизвестных q_{i-k} или d_{i-k} .

Трудно найти основания для сколько-нибудь точного назначения диаметров при неизвестных расходах. Между тем для наметки предварительного распределения расходов по участкам сети, т.е. для нахождения расходов q_{i-k} при пока неизвестных диаметрах, можно привести ряд существенных допущений. Таким образом, возникает задача обоснования

выбора начального потокораспределения в кольцевых сетях. После выбора начального потокораспределения при условии удовлетворения уравнений (7.1) по полученным расходам в участках находят, по приближенным формулам или таблицам, экономически наивыгоднейшие диаметры.

Затем необходимо произвести перераспределение расходов по участкам сети при уже известных d_{i-k} (а следовательно, и s_{i-k}), с тем чтобы добиться соответствия не только уравнений (7.1), но и уравнений (7.2).

7.1 Предварительное потокораспределение в кольцевых сетях и требования к их надежности

Назначение (выбор) предварительного распределения расходов воды по участкам кольцевой сети является весьма ответственной задачей проектирования и расчета водопроводных сетей.

Как было указано, при заданных конфигурациях сети, длине ее линий, местах и величинах отборов воды из сети может быть намечено неограниченное число вариантов распределения расходов воды по ее участкам. При каждом из таких вариантов необходимо обеспечить заданные величины отборов воды и удовлетворить условия баланса расходов в узлах.

Одним из важнейших критериев для выбора рационального варианта распределения расходов в сети является обеспечение требования надежности.

На первый взгляд, казалось бы целесообразным попытаться выбрать такой вариант распределения расходов, при котором вода подавалась бы к точке каждого отбора возможно более коротким путем. Действительно, это обеспечило бы наименьшую длину и стоимость сети, но одновременно привело бы к превращению кольцевой сети в разветвленную, а такая сеть в отношении надежности является неприемлемой для большинства потребителей. Кольцевание сети является основным, мероприятием по обеспечению ее надежности.

Однако для того, чтобы снижение подачи воды потребителям в результате возможных аварий на линиях сети было наименьшим, сеть должна не только иметь кольцевую форму, но и обеспечивать требуемую взаимозаменяемость ее параллельно

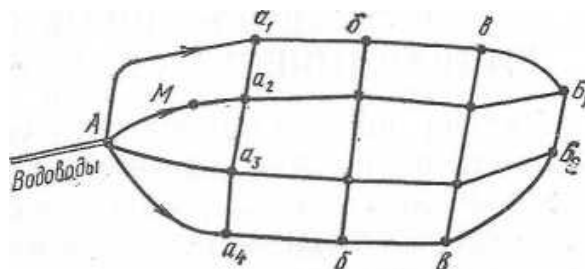


Рисунок 7.2

включенных ветвей при аварии на одной из них. Особенно важно обеспечить взаимозаменяемость соответствующих участков параллельно включенных основных транзитных магистралей (АБ₁, АБ₂ и т.п. рис. 7.2). Авария в точке М на головном участке Аа₂ одной из параллельных магистралей сети может

вызвать значительное снижение подачи воды объекту в целом. Чтобы уменьшить влияние такой аварии, остальные участки должны иметь достаточную пропускную способность. С этой целью при назначении начального потокораспределения общий расход воды, подаваемой в сеть, должен быть по возможности равномерно распределен между параллельными магистралями.

«Перемычки», соединяющие основные транзитные магистрали, при нормальной работе системы мало участвуют (или не участвуют) в транзитной передаче воды и служат в основном для обеспечения водой потребителей, получающих воду непосредственно из этих линий (цепочки линий *аа*, *бб*, *вв*). Однако при авариях на магистралях перемычки начинают работать, перебрасывая воду с одних транзитных магистралей на другие в обход выключенного поврежденного участка.

Сеть должна быть проверена на выполнение требований по подаче воды в периоды аварии. Для условий нормальной работы сети необходимо кроме основной схемы потокораспределения составлять еще схемы распределения расходов при наиболее опасных возможных авариях (при этом распределяется по сети допустимый общий расход воды при аварии Q_a).

Диаметры труб участков сети должны быть определены с учетом схем нормального и аварийного распределения потоков. Это не означает, что расчетные расходы магистралей будут сильно завышены, т.к. при аварии допускается по нормам снижение общего количества воды, подаваемой объекту, т.е. $Q_a < Q$.

Требования к надежности систем водоснабжения должны устанавливаться в зависимости от требований потребителей к бесперебойности подачи воды. Для систем городского водоснабжения, согласно действующим нормам, в случае выключения (для ликвидации аварии) одной из линий кольцевой сети или одного из участков параллельно уложенных водоводов подача воды на хозяйственно-питьевые нужды объекта в целом не должна снижаться более чем на 30%. Для систем производственного водоснабжения допустимое снижение подачи воды или допустимость перерывов подачи устанавливаются в зависимости от характера технологического процесса. Для ряда производств устанавливаются также предельно допустимая длительность и частота повторяемости перерывов или снижений подачи воды. Численные критерии надежности отдельных сооружений и элементов системы водоснабжения могут быть получены в результате обработки статистических данных длительных наблюдений за случайными событиями (в основном авариями), вызывающими «отказ» системы, т.е. снижение эксплуатационных ее показателей ниже допустимых пределов. В частности, полученные таким путем критерии

надежности могут использоваться для оценки надежности водопроводных сетей из различных по материалу труб и с различными конструкциями стыков.

7.2 Теоретические основы поверочных гидравлических расчетов водопроводных сетей

Задача поверочного расчета сети заключается в определении расходов воды в участках сети при уже известных диаметрах труб, а также в определении подач Q и напоров H всех водопитателей и нефиксированных отборов воды из сети при известных (намеченных, заданных) характеристиках, этих водопитателей и отборов.

Таким образом, при поверочном расчете заданными являются:

- а) диаметры и длины всех водопроводных линий и, следовательно, гидравлические сопротивления;
- б) фиксированные узловые отборы воды;
- в) напорно-расходные характеристики $Q-H$ всех водопитателей и нефиксированных отборов.

Известны также геодезические отметки узлов сети.

Рассмотрим общий случай кольцевой сети, имеющей p участков, m узлов, n колец и e водопитателей и нефиксированных отборов. По физическому смыслу задача может иметь единственно возможное решение: если в построенную сеть подавать воду выбранными при расчете насосами, то, очевидно, по всем участкам сети пойдут совершенно определенные количества воды.

Неизвестными при поверочном расчете сети будут:

- а) расходы q_{i-k} и потери напора h_{i-k} во всех участках системы;
- б) подачи водопитателей и нефиксированные отборы;
- в) пьезометрические напоры во всех узлах системы.

Следует отметить, что если все указанные расходы будут найдены, то легко могут быть определены потери напора и пьезометрические напоры во всех узлах (если хоть одна из пьезометрических отметок системы будет задана).

Чтобы найти неизвестные расходы, могут быть использованы следующие системы уравнений:

- а) m узловых уравнений $\sum q_{i-k} + Q_i = 0$, для всех узлов сети;
- б) n контурных уравнений $(\sum s_{i-k} q_{i-k}^\beta)_l = 0$ для всех колец сети;

в) $e-1$ уравнений, связывающих между собой e водопитателей и нефиксированных отборов; эти уравнения имеют вид:

$$F(Q)_I - F(Q)_K = (\sum h)_{I-K} \quad (7.3)$$

и связывают попарно напоры водопитателей, выраженные в функций подачи Q ,

через потери напора в цепи соединяющих их линий (I, K – номера соответствующих узлов), тогда общее число уравнений, достаточных для нахождения всех неизвестных расходов, будет:

$$(m + n - 1) + e = p + e \quad (7.4)$$

Уравнения (7.1) удовлетворяются при первоначальном потокораспределении. Уравнения (7.2) и (7.3) представляют собой уравнения гидравлической увязки. Удовлетворение уравнений (7.2) – уравнений баланса потерь напора в кольцах сети – показывает, что достигнуто правильное распределение расходов в сети при принятых диаметрах. Удовлетворение уравнения (7.3) свидетельствует, что получены такие подачи водопитателей и нефиксированные отборы, которые соответствуют их характеристикам $Q - H$ и будут отвечать условиям совместной работы водопитателей с сетью.

Уравнения (7.2) могут быть названы уравнениями «внутренней увязки», а уравнения (7.3) – уравнениями «внешней увязки».

В тех случаях, когда сеть имеет один водопитатель и не имеет нефиксированных отборов, для нахождения истинного распределения потоков воды в сети, т.е. величин всех расходов q_{i-k} , достаточно уравнений (7.2) (при соблюдении уравнений (7.1)).

7.3 Теория и методы внутренней увязки кольцевых сетей

При назначении начального потокораспределения в сети соблюдаются условия $\sum q_{i-k} + Q_i = 0$, (7.1) в узлах, но практически невозможно предусмотреть и обеспечить удовлетворение условий $\sum h_{i-k} = 0$ (7.3) или $(\sum s_{i-k} q_{i-k}^\beta)_I = 0$ (7.2) в кольцах. Поэтому после нахождения диаметров по первоначально намеченным расходам и определения по ним потерь напора оказывается, что уравнения (7.3) для кольцевой сети не удовлетворяются.

Задачей внутренней увязки сети является такое перераспределение расходов воды по участкам сети, после которого при уже принятых диаметрах будут удовлетворяться не только приведенные выше уравнения (7.1), но и уравнения (7.2). Таким образом, поставленная задача сводится к решению системы, включающей $m - 1$ линейных уравнений (7.1) при заданной подаче и n нелинейных уравнений (7.2). Неизвестными являются $p = m + n - 1$ истинных значений расходов q_{i-k} в участках сети.

Систему n нелинейных уравнений можно выразить в общем виде:

$$\left. \begin{aligned} F_1(q_1, q_2, \dots, q_f) &= 0; \\ F_2(q_g, q_{g+1}, \dots, q_j) &= 0; \\ F_n(q_m, q_{m+1}, \dots, q_p) &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$

Каждое уравнение относится к одному из колец сети. Все функции F

имеют одинаковый вид $(\sum s_{i-k} q_{i-k}^\beta)_I = 0$, но в каждую входят различные «наборы» неизвестных расходов q_{i-k} . Расходы смежных участков входят в уравнения двух соседних колец.

Для решения систем нелинейных уравнений широко используются метод Ньютона и многочисленные модификации этого, метода, основа которых сводится к тому, что предварительно задают значения неизвестных q_{i-k} , возможно более близкие к их истинным значениям, и значения расходов в уравнениях (7.5) заменяют через $q_{i-k} + \Delta q$, где Δq – искомая поправка к первоначально принятым значениям неизвестных.

Произведя в системе (7.5) указанную подстановку и раскладывая в ряд все функции F , ограничиваясь линейными членами разложения, получим:

$$\sum h' = \sum s_{i-k} (q'_{i-k})^\beta = \Delta h \quad (7.6)$$

где первый член многочлена представляет собой функцию (7.5), но при подстановке в нее q_{i-k} . Алгебраическая сумма всех потерь напора в каждом кольце представляет собой *невязку*, но *поправка* (Δq) остается неизвестной.

Подставляя поправку $\Delta q = \oint \frac{\partial F_I}{\partial q_{i-k}}$ получаем систему линейных уравнений для поправок Δq_I к первоначально заданным расходам q_{i-k} .

Решение данной системы уравнений, представляет собой сложную процедуру, требующую большого объема вычислительной работы. Широкое распространение решения данной системы получили методы последовательного приближения с применением различных приемов нахождения неизвестных на каждом шаге приближения. Наиболее широкое распространение получил метод, предложенный проф. В. Г. Лобачевым.

В. Г. Лобачев для построения системы уравнений использовал понятие *циркуляционных (контурных) расходов* – выразив через эти расходы все поправки к расходам на участках. Путь построения таких расчетных уравнений показан на примере кольцевой сети (рис. 7.3 и 7.4).

7.4 Пример гидравлического расчета кольцевой водопроводной сети методом Лобачева–Кросса

Первичное потокоразделение, как правило, неточно отображает работу как отдельных участков, так и сети, в общем. Фактическое потокоразделение воды наблюдается при выполнении первого и второго законов Кирхгофа.

Первый закон: если условно принять узловые расходы воды, которые поступают со знаком «+», а уходящие из узла со знаком «–», то должно соблюдаться условие (7.1).

Второй закон: если условно принять потери напора при направлении движения расчетных расходов воды в кольцо по часовой стрелке со знаком «+»,

а при направлении против часовой стрелке – со знаком «-», то при суммировании должно соблюдаться следующее условие:

$$\Sigma h_{\text{кольца}} = \Sigma s q^2 = 0 \quad (7.7)$$

Задача решается методом подбора. Рассмотрим сеть, состоящую из одного кольца (рис. 7.3).

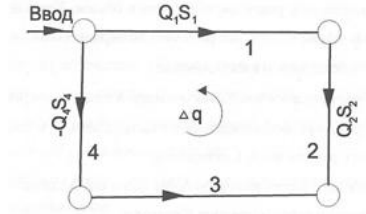


Рисунок 7.3 – Схема однокольцевой водопроводной сети

После предварительного потокораспределения и определения диаметров трубопровода определяют потери напора на каждом участке:

$$h_i = s_i q_i^2 \quad (7.8)$$

Просуммировав потери напора на всех участках сети, определим невязку потерь напора в кольце сети:

$$s_1 \cdot q_1^2 + s_2 \cdot q_2^2 - s_3 \cdot q_3^2 - s_4 \cdot q_4^2 = \Delta h \quad (7.9)$$

Невязка потерь напора в кольце сети имеет знак «+», следовательно, участки с направлением движения воды по часовой стрелке перегружены. Существует некий расход Δq , прибавив который к расходам на недогруженных участках (3 и 4) и вычтя из расходов перегруженных (1 и 2) – выполним условие:

$$s_1 \cdot (q_1 - \Delta q)^2 + s_2 \cdot (q_2 - \Delta q)^2 - s_3 \cdot (q_3 + \Delta q)^2 - s_4 \cdot (q_4 + \Delta q)^2 = 0 \quad (7.10)$$

Решим уравнение относительно поправочного расхода Δq , раскрыв предварительно скобки:

$$s_1 \cdot q_1^2 - 2s_1 \cdot q_1 \Delta q + s_1 \Delta q^2 + s_2 \cdot q_2^2 - 2s_2 \cdot q_2 \Delta q + s_2 \Delta q^2 - s_3 \cdot q_3^2 - 2s_3 \cdot q_3 \Delta q - s_3 \Delta q^2 - s_4 \cdot q_4^2 - 2s_4 \cdot q_4 \Delta q - s_4 \Delta q^2 = 0 \quad (7.11)$$

Сгруппируем члены уравнения следующим образом:

$$s_1 \cdot q_1^2 + s_2 \cdot q_2^2 - s_3 \cdot q_3^2 - s_4 \cdot q_4^2 - 2s_1 \cdot q_1 \Delta q - 2s_2 \cdot q_2 \Delta q - 2s_3 \cdot q_3 \Delta q - 2s_4 \cdot q_4 \Delta q + s_1 \Delta q^2 + s_2 \Delta q^2 - s_3 \Delta q^2 - s_4 \Delta q^2 = 0 \quad (7.12)$$

Первые 4 члена уравнения согласно (7.12) равняются Δh , а те члены уравнения, которые содержат Δq можно приравнять 0. Следовательно, уравнение (7.12) приобретает вид:

$$\Delta h - 2 \Delta q (s_1 \cdot q_1 + s_2 \cdot q_2 + s_3 \cdot q_3 + s_4 \cdot q_4) = 0 \quad (7.13)$$

Откуда поправочный расход составляет:

$$\Delta q = \frac{\Delta h}{2 \sum (s_i q_i)} \quad (7.14)$$

Знак «-» принят потому, что знаки невязки и поправочного расхода всегда противоположны.

При наличии нескольких колец необходимо учитывать взаимное влияние поправочных расходов смежных колец. Если в смежных кольцах невязка имеет одинаковый знак, то поправочные расходы вычитаются и Δq присваивается знак большего поправочного расхода, а при разных знаках – невязки складываются.

При ручном счете расчет ведут до тех пор, пока невязка в каждом кольце в час максимального водопотребления и транзита составит не более 0,5 м, по контуру 1.0 м; для пожара соответственно 0,75 м и 1,5 м.

В четырехкольцевой сети (рис. 7.4) заданы длины участков и отбор воды в узлах Q_i . Т.к. сеть имеет один водопитатель и не имеет нефиксированных отборов, общая подача воды водопитателем составит $Q = \sum Q_i$.

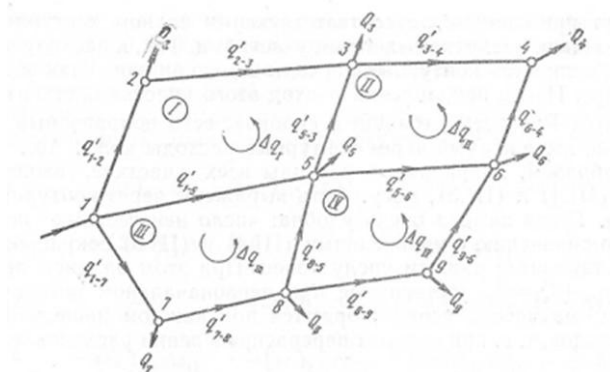


Рисунок 7.4 – Схема водопроводной сети состоящей из 4 колец

После предварительного распределения расходов по участкам сети и нахождения по ним диаметров труб гидравлические сопротивления s_{i-k} становятся известными.

Таким образом. Для каждого участка сети могут быть найдены потери напора, и вычислена их алгебраическая сумма – невязка. Невязка не равна нулю, а знаки невязок дают представление о степени и характере первоначального распределения расходов. Условно принимаем движение воды в кольце по часовой стрелке. Пусть в рассматриваемой сети все невязки получились положительными ($\Delta h > 0$), это значит, что в данной сети все участки перегружены по сравнению с истинным распределением. Для нахождения истинного распределения нужно учитывать поправочный расход Δq , прибавляя его к расходам, направления которых совпадает с его направлением, и вычитать из тех расходов – направления которых не совпадает. Путь проведения таких контурных расходов во всех 4 кольцах показан на рис. 4 стрелками.

Порядок расчета кольцевой водопроводной сети

1. определяют путевые и сосредоточенные расходы в узлах;
2. распределяют транзитные расходы по отдельным участкам с соблюдением равенства $\sum q + Q = 0$. При этом учитывают расположение

- отдельных потребителей, к которым вода должна подаваться кратчайшими путями, а также примерное равенство транзитных расходов по основным параллельным магистралям;
3. на основании намеченных (расчетных) расходов q_p отдельных участков по среднему гидравлическому уклону или по экономическим скоростям определяют их диаметры;
 4. по расходам и диаметрам находят потери напора h с соблюдением равенства $\sum h = 0$. При относительно произвольном первоначальном распределении расходов в большинстве колец $\sum h \neq 0$, но $\sum h = \Delta h$ – невязка;
 5. перераспределяют расходы воды по отдельным ветвям с соблюдением условия $\sum q + Q = 0$ путем переброски увязочных расходов Δq с одних ветвей на другие. Увязку сети выполняют последовательно несколько раз, до тех пор, пока невязка по кольцу будет сведена примерно до 0,3 – 0,5 м;
 6. величину увязочного расхода Δq для каждого кольца находят из равенства:

$$\Delta q_i = \frac{\Delta h_i}{2 \sum (sq)_i},$$

где s и q – сопротивление и расход участков, составляющих кольцо.

Расчет сети по методу проф. В. Г. Лобачева сводится в таблицу, которая приведена ниже (табл. 7.1). При увязке кольца водопроводной сети положительные увязочные расходы должны добавляться к положительным расходам линий и вычитаться из негативных расходов, а отрицательные – наоборот, соответственно увязочные расходы выписываются напротив каждого участка кольца со знаком плюс или минус.

При определении увязочных расходов линий, принадлежащих двум смежным кольцам, необходимо учитывать увязочные расходы смежных колец: так, если $\Delta h > 0$, то Δq должны быть направлены против часовой стрелки, а если $\Delta h < 0$ – то по часовой стрелке.

Контрольные вопросы:

1. Какова цель расчета водопроводной сети?
2. В чем состоят уравнения Кирхгофа для расчета водопроводной сети?
3. Как и для чего проводится предварительное потокораспределение при расчете кольцевых водопроводных сетей?
4. Каковы теоретические основы поверочных гидравлических расчетов водопроводных сетей?
5. Теория и методы внутренней увязки кольцевых водопроводных сетей.
6. Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети методом Лобачева-Кросса.

Таблица 7.1 – Расчет кольцевой сети методом проф. В.Г. Лобачева

№ кольца	№ участка	Длина участка, м	Предварительное потокораспределение							1 исправление				2 исправление			
			Q, л/с	D, мм	V, м/с	K	$S = A \cdot K_q \cdot l \cdot 10^{-3}$	$h = SQ^2$	SQ	увязочный расход, Δq , л/с	Q, л/с	SQ	$h = SQ^2$	увязочный расход, Δq , л/с	Q, л/с	SQ	$h = SQ^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I																	
										$\Delta q_1 = -\frac{\pm \Delta h_1}{\Sigma SQ_1}$		ΣSQ_1	Σh_1	$\Delta q_2 = -\frac{\pm \Delta h_2}{\Sigma SQ_2}$		ΣSQ_2	Σh_2
II																	
										$\Delta q_1 = -\frac{\pm \Delta h_1}{\Sigma SQ_1}$		ΣSQ_1	Σh_1	$\Delta q_2 = -\frac{\pm \Delta h_2}{\Sigma SQ_2}$		ΣSQ_2	Σh_2
III																	
										$\Delta q_1 = -\frac{\pm \Delta h_1}{\Sigma SQ_1}$		ΣSQ_1	Σh_1	$\Delta q_2 = -\frac{\pm \Delta h_2}{\Sigma SQ_2}$		ΣSQ_2	Σh_2
IV																	
										$\Delta q_1 = -\frac{\pm \Delta h_1}{\Sigma SQ_1}$		ΣSQ_1	Σh_1	$\Delta q_2 = -\frac{\pm \Delta h_2}{\Sigma SQ_2}$		ΣSQ_2	Σh_2

ТЕМА 8 Оборудование водопроводной сети. Арматура и сооружения на сети

Водопроводная сеть состоит из труб. К основному оборудованию на водопроводной сети можно отнести: – вводы в зданиях, водомерные узлы, водонапорные баки, насосные повышающие установки и арматуру водопроводной сети. Для размещения арматуры предусматривают водопроводные колодцы. При появлении препятствий на пути водовода на сети устраивают дюкеры и переходы. Для исключения смещения и повреждения трубопроводов устраивают упоры.

Вводы в зданиях – служат для соединения наружной водопроводной сети с внутридомовой. Вводы прокладывают перпендикулярно уличной сети. Трубы ввода можно располагать вдоль стен здания на расстоянии не менее 5 м от стены (из-за размыва фундамента). Присоединение домового ввода к существующей трубе городского водопровода осуществляется установкой тройника.

Вводы выполняют из чугунных труб при диаметре ввода 50 – 100 мм (реже 150 мм), из стальных оцинкованных – диаметром 50 мм или стальных бесшовных труб. Горизонтальное расстояние места ввода до подземного канализационного трубопровода должно быть не менее 1,5 м. Глубина заложения трубопровода должна соответствовать глубине заложения уличного водопровода и быть ниже глубины промерзания.

Водомерный узел устраивают вблизи наружных стен зданий в сухих, теплых и нежилых помещениях, специальных приемках под лестницами, в подвалах. В водомерный узел должен быть обеспечен свободный доступ обслуживающего персонала. Водомерный узел состоит из задвижки, водомера, контрольно-спускового крана, запломбированной задвижки. На вводах обычно устанавливают скоростные счетчики, действие которых основано на вращении крыльчатки или турбинки в потоке воды.

Водонапорные баки применяют при постоянном или периодически недостаточном напоре на вводе в здание для создания запаса для бесперебойного водоснабжения.

Емкость баков при ручном включении насосов составляет 20–30% суточного водоснабжения, а при автоматическом – 5–8 %. Помещение для баков должны иметь освещение, отопление и вентиляцию.

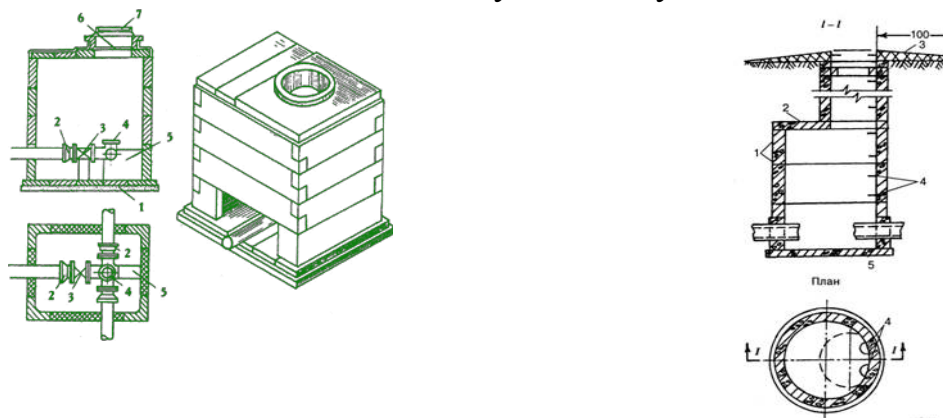
Водонапорные баки состоят из спускного трубопровода из поддона, поплавкового клапана, подающего трубопровода, сигнальной трубы, опорных брусков, водоразборного трубопровода и переливного трубопровода.

Насосные повышающие установки применяют при постоянно недостаточном напоре в городских сетях для водоснабжения зданий.

Арматуру водопроводной сети устанавливают для управления потоком жидкости.

Водопроводные колодцы предназначены для размещения в них арматуры (задвижек, вантузов, выпусков пожарных гидрантов и т.д.). Типы и размеры колодцев зависят от количества и размеров фасонных частей и арматуры, которая в них располагается.

Глубина колодца определяется в зависимости от установленной глубины заложения труб. Колодец состоит из рабочей камеры и горловины над ней, которая служит для спуска в рабочую камеру. Высоту рабочей камеры принимают равной около 1,8 м, что достаточно для выполнения работ в колодце. Высоту горловины принимают в зависимости от общей глубины заложения водопроводной сети (рис. 8.1). Размеры камеры колодца в плане определяются габаритами арматуры фасонных частей, а также возможностью осуществления монтажа и демонтажа узла коммуникаций.



1 – песчаная или гравийная подсыпка; 2 – переходник; 3 – задвижка; 4 – под-ставка для пожарного гидранта; 5 – упор; 6 – внутренняя крышка; 7 – люк

1 – кольца; 2 – плита перекрытия; 3 – отмостка; 4 – скобы; 5 – днище

Рисунок 8.1 – Водопроводный колодец

Высота засыпки от перекрытия колодца до поверхности земли должна быть такой, чтобы не происходило промерзание колодца. Для средней полосы она должна быть не менее 0,5 м, в южных районах она может быть уменьшена до 0,3 м.

На горловину колодцев устанавливают чугунные или стальные люки с крышками. Чугунные люки выпускаются двух типов. Тяжелые люки типа Т (служат для установки на проезжих частях улиц) и легкие люки типа Л (служат для установки на тротуарах и на дорогах с движением автотранспорта с грузоподъемности до 5 т). На крышке люков колодцев, предназначенных для установки на водопроводе, отливаются буквенные обозначения ГВ – городской водопровод. Стальные сварные люки могут изготавливаться на месте строительства.

Люки располагают над поверхностью земли или дорожного покрытия так, чтобы в колодцы не могли попадать поверхностные воды и грунт. В то же время люки не должны мешать проезду транспорта. При отсутствии дорожного покрытия на месте устройства колодцев вокруг люков следует выполнять отмостку шириной 1 м с уклоном от люка. Для спуска в колодец в нем устанавливают чугунные или стальные скобы или металлические лестницы.

Колодцы в плане бывают круглыми или прямоугольными. Для размещения сложных узлов арматуры камерам можно придавать полигональную форму.

В настоящее время водопроводные смотровые колодцы выполняют преимущественно из сборного железобетона. В ряде случаев колодцы можно делать из кирпича.

Разработаны типовые проекты круглых колодцев из сборных железобетонных колец диаметром 1000, 1500 и 2000 мм, предназначенных для размещения узлов трубопроводов диаметром от 200 до 500 мм. Прямоугольные колодцы из сборных железобетонных плоских элементов длиной 1000, 1500, 2000 и 2500 мм предназначены для размещения узлов трубопроводов диаметром от 350 до 1000 мм.

Кирпичные колодцы также могут быть круглыми или прямоугольными в плане. В нижней части их выполняют с вертикальными стенками, а в верхней части – со стенками, сходящимися конусом.

Колодцы больших размеров выполняют с вертикальными стенками на высоту около 1,8 м (высота камеры) и перекрывают. Над перекрытием выполняют горловину диаметром 70 см, заканчивая ее сверху люком.

Под действием внутренних сил давления в трубопроводах возникают растягивающие усилия. На участках, прилегающих к поворотам линий, на ответвлениях и тупиковых участках эти усилия могут вызывать нарушение раструбных соединений (выход гладких концов труб из раструбов). Для исключения смещения и повреждения трубопроводов в смотровых колодцах или в земле устанавливают упоры (рис. 8.2) в направлении действия растягивающих усилий. Конструктивно упоры выполняют в виде бетонных, кирпичных или бутовых массивов. При расположении угла поворота трубопровода в колодце отвод закрепляют к стенке колодца. При рабочем давлении до 10 кгс/см^2 и угле поворота до 10° упоры на чугунных трубах не устраивают.

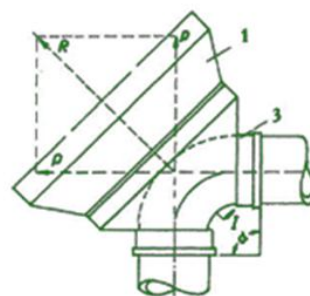
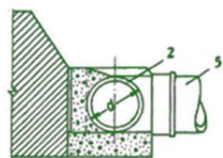


Рисунок 8.2 – Упор: 1 – упор; 2 – слой толя и рубероида; 3 – колено

На стальных трубопроводах упоры следует предусматривать при расположении угла поворота в колодце и при поворотах в вертикальной плоскости более чем на 30° .

Компенсатор представляет собой устройство, воспринимает температурные удлинения стальных трубопроводов; их ставят в тех случаях, если стыки труб сами не компенсируют соответствующие перемещения.

Компенсаторы следует устанавливать на стальных трубопроводах, прокладываемых в тоннелях или на эстакадах, при укладке труб в просадочных грунтах, при подземной прокладке линий из стальных труб со сварными стыками, при жесткой заделке стальных труб в стенки колодцев, резервуаров, баков.

8.1 Трубы водопроводной сети

Требование к водопроводным трубам:

- прочность – сопротивление всем возможным (заданным) нагрузкам: внутренним и внешним;
- герметичность;
- гладкость внутренней поверхности для обеспечения наименьшей потери напора на трение при движении воды;
- долговечность.

Классификация труб по материалу изготовления:

- металлические: стальные и чугунные;
- неметаллические.

Стальные трубы

Нормативный срок службы 20 лет. Основное повреждение – свищ. Для наружного водопровода изготавливают диаметром 100–1600 мм. Трубы с гладкими концами, стыкуются сваркой. Стальные трубы обладают высокой прочностью, хорошим сопротивлением динамическим нагрузкам и вибрациям. Выпускаются без покрытия предотвращающего коррозию.

Недостатки: коррозия, необходима защита от коррозии (лакокрасочное покрытие, битум, цемент, катодная защита).

Чугунные трубы

Нормативный срок службы 60 лет. Основное повреждение – нарушение стыкового соединения. Для наружного водопровода изготавливают диаметром 65–1200 мм длиной 2–7 м.

Стык труб должен быть прочным и герметичным, иметь некоторую гибкость, допускающую поворот соединенных труб на незначительный угол. При соединении гладкий конец трубы вводят в раструб другой, оставляя зазор 6–5 мм, заполняя его уплотнителем (жгут смоленной или битуминизированной пряди на 2/3 зазора) и конопатя, потом зазор заливают асбестоцементом (увлажненная смесь 30% асбест и 70% цемент). Раструб до 300 мм – с резиновым уплотнителем, и более с винтовой запорной муфтой. Для монтажа узлов водопроводной сети используют «фасонные части».

При изготовлении на заводе трубы покрывают (внутри и снаружи) нефтяным битумом, поэтому они хорошо защищены от коррозии.

Недостатки: хрупкие при динамическом воздействии, выдерживают меньшее внутреннее давление и более металлоемкие по сравнению со стальными.

Железобетонные трубы

Нормативный срок службы 30 лет. Основное повреждение – нарушение стыкового соединения.

Изготавливаются методом вибропрессования и методом центрифугирования.

Соединения труб: раструбные, соединения на муфтах, фальцевые соединения.

Преимущества: долговечность, гладкость стенок, малая металлоемкость.

Недостатки: большая масса.

Асбестоцементные трубы

Нормативный срок службы 20 лет. Основное повреждение – нарушение стыкового соединения.

Соединения труб: при помощи асбестоцементных и чугунных муфт.

Преимущества: гладкость стенок, малая масса, малая теплопроводность, устойчивость к коррозии.

Недостатки: хрупкость.

Диаметр 100–500 мм; длина 3–4 м; состав (по массе): 75–80% портландцемент, 25–20% асбест.

Пластмассовые трубы

Нормативный срок службы 50 лет. Основное повреждение – нарушения и разрывы околошовных зон из-за нарушения технологии сварки. Трубы изготавливаются из полиэтилена, полипропилена (ПП), поливинилхлорида (ПВХ), винилпласта, фаолита, фторопласта, стеклопластика.

Достоинства: стойкость против коррозии, небольшой вес,

диэлектричность, гладкость стен, малая теплопроводность, простой монтаж.

Прочностные показатели труб

$$P_{np}^0 \geq \frac{P}{m_1 m_2 m_3}, \quad (8.1)$$

где P_{np}^0 – испытательное давление;

P – расчетное внутреннее давление (результат гидравлического деления);

m_1, m_2, m_3 – коэффициенты;

m_1 – учитывает кратковременность заводского испытания. Для металлических, ж/б и асбестоцементных труб $m_1 = 0,9$;

m_2 – учитывает снижение прочностных характеристик, при благоприятных условиях эксплуатации принимают равным 1;

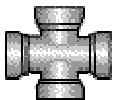
m_3 – учитывает условия работы труб; в местах где трубопровод трудно открыть – 0,8; под усовершенствованными покрытиями – 0,9; в остальных случаях – 1.

Материалы, применяемые для соединения труб между собой, называются фасонными частями. К числу их принадлежат соединительные муфты, переходные муфты, уголки, тройники, крестовины и пр. С помощью фасонных частей можно соединять трубы разных диаметров и придать трубопроводу и его ответвлениям нужное направление (в стороны, вверх и вниз).

8.2 Номенклатура фасонных чугунных частей

Наименование	Обозначение в документах	Эскиз	Обозначение на схеме
Колено раструбное	УР		
Колено раструб-гладкий конец	УРГ		
Колено фланцевое	УФ		
Отвод раструбный 10° 15° 30° 45°	ОР		

Отвод раструбный 60°	ОР		
Отвод раструб-гладкий конец 10° 15° 30° 45°	ОРГ		
Отвод раструб-гладкий конец 60°	ОРГ		
Двойной раструб	ДР		
Патрубок фланец-раструб	ПФР		
Патрубок фланец-гладкий конец L=1200мм	ПФГ		
Патрубок фланец-гладкий конец L=350мм	ПФГ		
Патрубок раструб с переходом на сталь	ПРГ-ст		
Заглушка фланцевая	ЗФ		
Выпуск фланцевый	ВФ		
Выпуск раструбный	ВР		
Тройник фланцевый	ТФ		
Тройник раструбный	ТР		
Тройник раструб-фланец	ТРФ		

Крест раструбный	КР		
Крест фланцевый	КФ		
Крест раструб-фланец	КРФ		
Переход фланцевый	ХФ		
Переход раструбный	ХР		
Переход раструб-фланец	ХРФ		
Переход раструб-гладкий конец	ХРГ		
Пожарная подставка раструбная	ППР		
Тройник раструб-фланец с пожарной подставкой	ППТРФ		
Тройник фланцевый с пожарной подставкой	ППТФ		
Крест раструб-фланец с пожарной подставкой	ППКРФ		
Крест фланцевый с пожарной подставкой	ППКФ		

8.3 Арматура на водопроводной сети

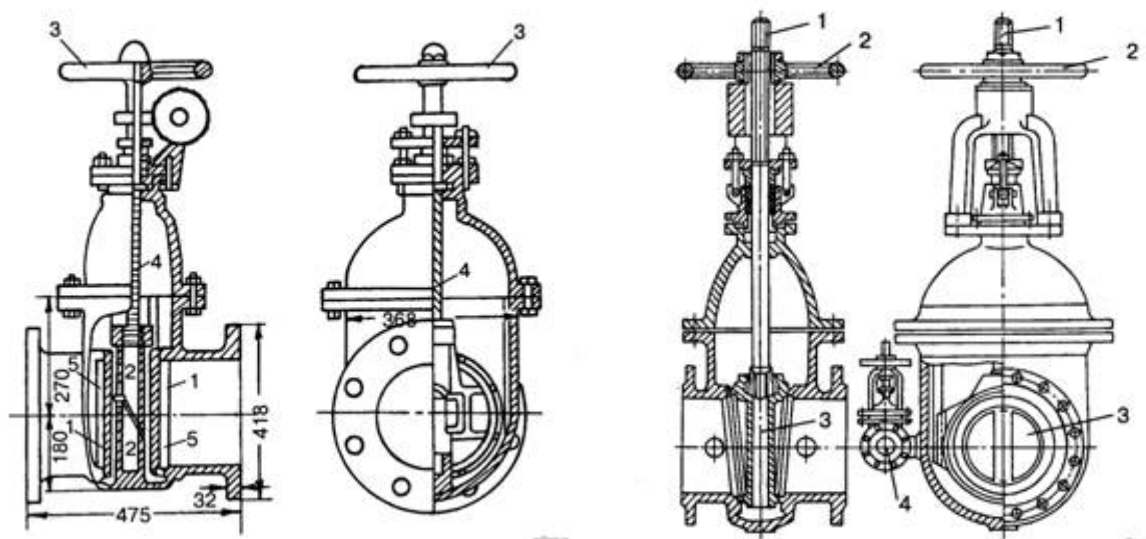
Для нормальной эксплуатации водопроводной сети на ней устанавливают следующую арматуру: запорно-регулирующую (задвижки и дисковые поворотные затворы), предохранительную (предохранительные клапаны,

воздушные вантузы) и водоразборную (водоразборные колонки, краны, пожарные гидранты).

8.3.1 Запорно-регулирующая арматура

Задвижки (рис. 8.3) и дисковые поворотные затворы (рис. 8.4) служат для регулирования распределения расходов воды по сети и отключения участков сети для осмотра и ремонта.

Применяемые в практике задвижки разделяют на параллельные и клиновые. Оба типа могут быть с выдвижным и невыдвижным шпинделем.



а: 1 – диски; 2 – скошенные клинья;
3 – маховик; 4 – шпindel; 5 – гнезда

б: 1 – шпindel; 2 – маховик;
3 – клинообразный диск; 4 – обводная линия

Рисунок 8.3 – Задвижки:

а – параллельная задвижка с невыдвижным шпинделем;

б – клиновая задвижка с выдвижным шпинделем.

Запорное устройство параллельной задвижки состоит из двух дисков и расположенных между ними односторонне скошенных клиньев. Вращением маховика, связанного со шпинделем, диски можно поднимать (открывать задвижку) и опускать (закрывать задвижку). При опускании дисков клинья раздвигаются и прижимают диски к гнездам, обеспечивая плотное закрытие задвижки.

В клиновой задвижке с выдвижным шпинделем запорное устройство состоит из одного круглого диска (рис. 8.3 б). Плотность закрытия задвижки обеспечивается клинообразной формой диска, вводимого в гнездо между наклонными уплотняющими кольцами корпуса.

Для облегчения открытия задвижек больших диаметров их снабжают обводными линиями. Открытие задвижки на обводной линии выравнивает давление по обеим сторонам диска и облегчает открытие основной задвижки.

В последние годы благодаря ряду достоинств получили распространение

дисковые поворотные затворы (рис. 8.4). Принцип их работы состоит в том, что поворотный диск, будучи прижат к уплотняющей поверхности седла внутри корпуса, преграждает путь потоку воды; при повороте диска на 90° вода свободно проходит через затвор. К достоинствам поворотных затворов относятся: малый вес, малые размеры, высокая герметичность (благодаря наличию шлангового резинового уплотнителя) и низкая стоимость. Недостатком затворов является то, что они вызывают большие потери напора, чем обычные задвижки.

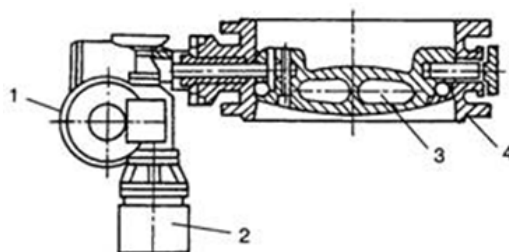


Рисунок 8.4 – Дисковый поворотный затвор с электроприводом:

1 – редуктор; 2 – электродвигатель; 3 – поворотный диск; 4 – седло

Задвижки большого диаметра и дисковые поворотные затворы оборудуют электрическим или гидравлическим приводом, что обеспечивает возможность дистанционного и автоматического управления ими.

В местах установок задвижек и затворов на сети обычно устраивают смотровые колодцы или камеры.

8.3.2 Предохранительная арматура

Для предотвращения обратного движения воды по водоводам к насосам насосных станций применяют обратные клапаны. Их устанавливают между напорным патрубком насоса и задвижкой, что позволяет во время ремонта клапанов отключать их от водоводов.

Обратные клапаны применяют также в качестве отсекающей арматуры для разделения водоводов на отдельные участки как мера, локализирующая гидравлический удар (повышение давления вследствие резкой остановки движения воды при быстром закрытии задвижки или остановке насоса с открытой задвижкой на напорном патрубке и др.).

Обратный однодисковый поворотный клапан показан на рисунке 8.5. Под действием движущейся воды тарелка 2 поворачивается вместе с шарнирным рычагом 4 относительно оси, и вода проходит через клапан. При движении воды в обратном направлении (на рисунке справа налево) тарелка опускается вначале под действием собственного веса, а затем под давлением воды, и клапан закрывается.

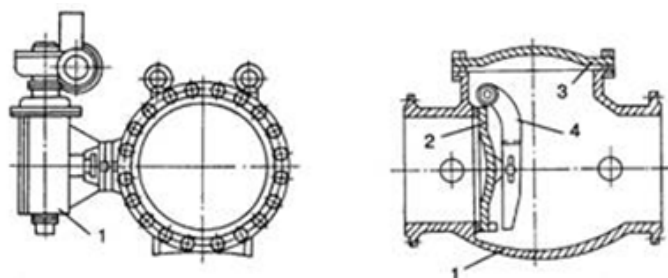


Рисунок 8.5 – Обратный поворотный клапан:

1 – корпус; 2 – тарелка клапана; 3 – крышка корпуса; 4 – рычаг тарелки клапана

Обратные многодисковые поворотные клапаны имеют по несколько тарелок. Благодаря меньшему весу каждой тарелки и одновременному их закрытию сила общего удара при обратном движении воды значительно меньше, чем у однодискового клапана.

Клапаны больших размеров выполняют с обводными линиями, на которых устанавливают задвижки с электроприводом.

Для защиты трубопроводов от гидравлического удара применяют предохранительные клапаны. Их разделяют на две группы: 1) пружинные предохранительные клапаны и диафрагмы, применяемые при гидравлических ударах, начинающихся с повышения давления; 2) гасители удара, применяемые при гидравлических ударах, начинающихся с понижения давления. Клапаны первой группы устанавливают в любой точке водопроводной сети и водоводов, а также на насосных станциях. Клапаны второй группы (гасители удара) устанавливают лишь на насосных станциях.

Для отключения клапана на период ремонта или регулирования между трубопроводом и клапаном следует устанавливать задвижку.

Предохранительные диафрагмы представляют собой устанавливаемые на ответвлениях металлические заслонки, которые могут выдержать давление не более рабочего. Обычно такие диафрагмы устанавливают в штуцерах на верхних крышках обратных клапанов. Гидравлический удар, начинающийся с понижения давления, может произойти при внезапном выключении насосов. При этом в начале водовода может произойти снижение давления, за которым может последовать волна повышения давления. Гасители удара устанавливают непосредственно за обратным клапаном по направлению движения воды. При падении давления они открываются, и в момент ударной волны происходит слив воды. Затем сбросной клапан гасителя медленно закрывается.

В возвышенных точках водоводов и водопроводной сети может скапливаться воздух (оставшийся в трубопроводе в период его заполнения, попавший с водой из источника, выделившийся из воды и др.). Наличие

воздуха в трубопроводах уменьшает их пропускную способность и может быть причиной возникновения гидравлических ударов (соударение разорвавшихся частей потока в результате накопления воздуха).

В некоторых случаях возникает необходимость впуска воздуха в трубопроводы. Для выпуска и впуска небольших количеств воздуха применяют вантузы. На рисунке 8.6 показан простейший вантуз. При скоплении воздуха уровень воды внутри корпуса 1 снижается и шар 6 опускается. В результате опускаются связанные со штоком клапаны и открываются малое, а затем большое отверстия, через которые происходит выпуск воздуха. После выпуска воздуха уровень воды и шар поднимаются. Вместе с шаром поднимаются связанные с ним через шток клапаны, закрывая отверстия.

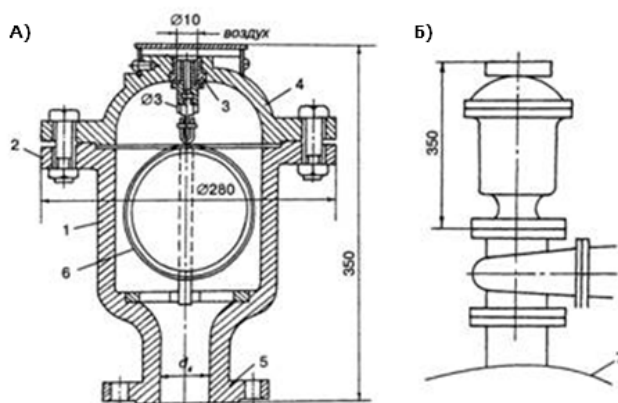


Рисунок 8.6 – Вантуз для выпуска воздуха из трубопровода и для впуска воздуха в него:

- а – общий вид вантуза; б – установка вантуза на трубопроводе;
 1 – корпус; 2 – верхний фланец; 3 – бронзовая втулка; 4 – крышка; 5 – нижний фланец;
 6 – шар; 7 – трубопровод

Для трубопроводов больших диаметров применяют двойные вантузы (с двумя шарами).

Для впуска воздуха в трубопроводы перед ремонтом или во время аварии применяют противовакуумные автоматические пружинные вантузы.

8.3.3 Водоразборная арматура

Водоснабжение поселков и зданий, не оборудованных внутренним водопроводом, осуществляется через водоразборные колонки. На рисунке 8.7 показана водоразборная колонка московского типа. При нажатии на рукоятку штангой открывается клапан, и вода поступает в подающую трубу. После прекращения работы колонки вода из подающей трубы стекает в патрубок, откуда засасывается эжектором в начале очередного действия колонки. Напор в сети для нормального действия колонки должен быть не менее 1 кгс/см^2 . Водоразборные колонки размещают на сети так, чтобы радиус действия каждой колонки не превышал 100 м.

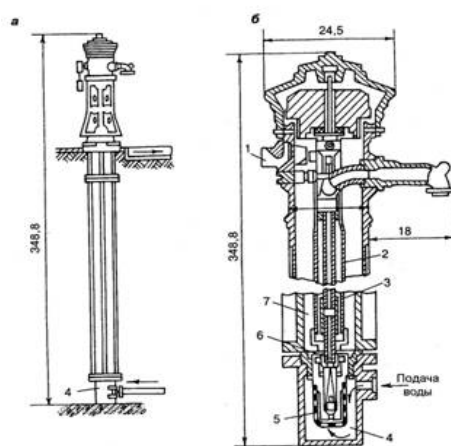


Рисунок 8.7 – Водоразборная колонка московского типа:

а – общий вид колонки; б – детали колонки; 1 – подъемный рычаг с рукояткой; 2 – трубчатая штанга; 3 – подающая труба; 4 – приемник; 5 – клапан; 6 – эжектор; 7 – патрубок

Для забора воды из сети с целью пожаротушения применяют гидранты (рис. 8.8). Гидранты бывают подземные и надземные. На рисунке 8.8,а показан наиболее широко распространенный подземный гидрант. При пользовании гидрантом на него навинчивают стендер, показанный на рисунке 8.9. При вращении рукоятки 1 стендера опускается шпindel гидранта и открывается связанный с ним шаровой клапан. Вода забирается через пожарные рукава, присоединяемые к штуцерам 2 стендера.

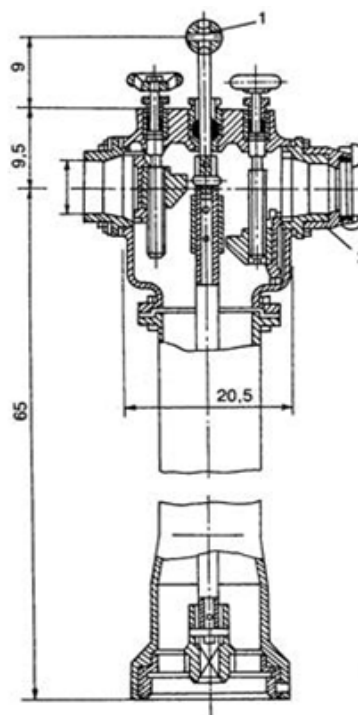
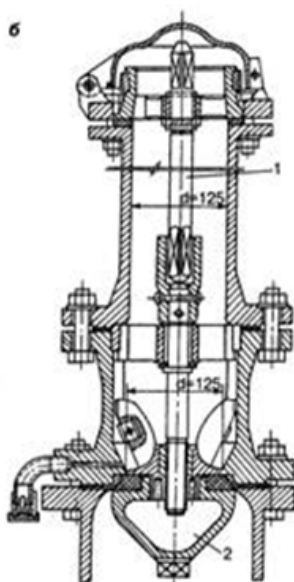
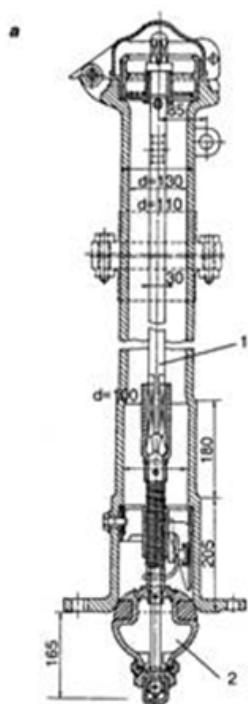


Рисунок 8.8 – Пожарные гидранты

Рисунок 8.9 – Стендер:
1 – рукоятка; 2 – штуцера

На рисунке 8.8,б показан гидрант другой конструкции. Он имеет клапан более обтекаемой формы и уменьшенный шаг резьбы шпинделя, благодаря чему менее опасен в отношении гидравлического удара. В целях устранения возможности возникновения гидравлического удара к этому гидранту разработано специальное разгрузочное приспособление, предотвращающее повышение давления сверхустановленного.

Гидранты устанавливают в смотровых колодцах на фасонных частях (пожарных подставках). Высоту гидрантов подбирают с учетом глубины колодцев. Расстояние между гидрантами на сети должно быть не более 100 м.

Контрольные вопросы:

1. Оборудование на водопроводной сети.
2. Водопроводные колодцы на сети.
3. Металлические трубы, виды, характеристика.
4. Неметаллические трубы, виды, характеристика.
5. Прочностные показатели труб.
6. Фасонные части.
7. Запорно-регулирующая арматура.
8. Предохранительная арматура.
9. Водоразборная арматура.

ТЕМА 9 Регулирующие и запасные емкости

К регулирующим и запасным сооружениям в системах водоснабжения относят водонапорные башни, водонапорные колонны, резервуары и гидропневматические установки (воздушно-водяные котлы), содержащие объемы воды для регулирования работы системы водоснабжения, а также запасы на случай пожара или аварии. Регулирование заключается в согласовании различных режимов подачи и потребления воды при помощи аккумулирующих емкостей. При подаче воды в избытке она накапливается в емкостях, а при недостатке – забирается из них. Регулирование обеспечивает сравнительно равномерную работу водозаборов, очистных сооружений и насосных станций.

Емкости в системах водоснабжения предназначены для хранения запасов воды, регулирования подачи и расхода воды и обеспечения необходимых напоров. В соответствии со схемой водоснабжения и расположением емкостей они могут выполнять одно или несколько назначений. Емкости, используемые в системах водоснабжения классифицируются:

- *по функциональному назначению*: регулирующие; запасные; запасно-

регулирующие;

- по способу отвода воды: безнапорные (пассивные); напорные (активные);
- по конструктивным признакам (напорные емкости): водонапорные башни; напорные резервуары; водонапорные колонны; гидро-пневматические установки;
- по степени заглубления (резервуары): заглубленные или подземные (резервуары чистой воды – РЧВ); незаглубленные или наземные; полу заглубленные.

9.1 Водонапорные башни

Водонапорные башни используют для хранения регулирующих и пожарных запасов воды. Их возводят в месте с наивысшей отметкой земли и как можно ближе к потребителям и районам, в которых необходимы большие свободные напоры. Размещать башни необходимо таким образом, чтобы можно было организовать ЗСО радиусом 15 м.

Основные элементы водонапорной башни (строительные и монтажные) приведены на рисунке 9.1. К строительным элементам относятся фундамент и подвальное помещение, поддерживающая конструкция (столб), бак (резервуар), шатер, лестница. Монтажные элементы – система трубопроводов, арматура, монтажные детали.

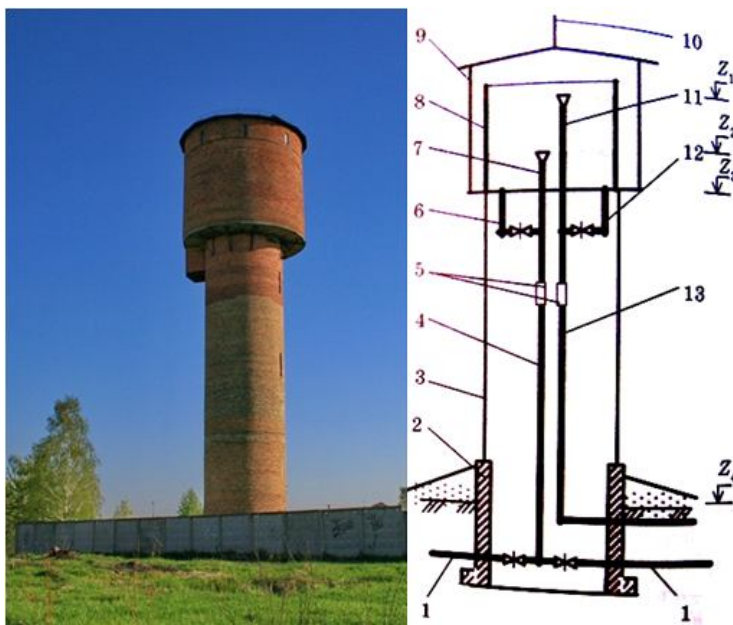


Рисунок 9.1 – Общий вид и схема водонапорной башни:

- 1 – трубопровод подключения башни к сети; 2 – фундамент и подвальное помещение;
3 – столб; 4 – подавательно-отводной стояк; 5 – сальниковые компенсаторы; 6 – трубопровод для отбора воды на пожарные нужды; 7 – водопровод для отбора воды на хоз.-питьевые нужды; 8 – бак; 9 – шатер; 10 – молниеотвод; 11 – переливная труба; 12 – грязеотвод; 13 – сливной стояк

Воду подают в бак трубопроводом 1, а забирают 4 и 7. Верхний край трубы 7 установлен на уровне 10-ти минутного пожарного запаса (Z_2). В обычных условиях уровень воды в баке поднимается до максимального уровня в баке (Z_1) и опускается до отметки Z_2 , при отборе воды из башни. Объем воды между отметками Z_1 и Z_2 – регулирующий запас, а между Z_2 и Z_3 – пожарный, его можно забрать лишь при открытии задвижки на трубопроводе 6. Если бак переполняется, то избыточная вода стекает по трубам 11 и 13 в канализацию.

Периодически для чистки и дезинфекции бак нужно опорожнять. Во избежание разрушения бака и труб от разрушений вследствие температурных деформации на трубах 4 и 13 устанавливают компенсаторы 5 и шатер 9.

Общий объем бака башни, м^3 определяется по формуле:

$$W = W_{\text{рег}} + W_{\text{НПЗ}}, \text{м}^3 \quad (9.1)$$

где $W_{\text{рег}}$ – регулирующий объем бака, м^3 ;

$W_{\text{НПЗ}}$ – неприкосновенный пожарный запас, м^3 .

$$W_{\text{рег}} = Q_{\text{max.сут}} \left[1 - K_{\text{н}} + (K_{\text{ч}} - 1) \left(\frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{ч}}} \right)^{\frac{K_{\text{ч}}}{(K_{\text{ч}} - 1)}} \right], \text{м}^3 \quad (9.2)$$

где $Q_{\text{max.сут}}$ – расход воды, в сутки максимального водопотребления, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$K_{\text{н}}$ – отношение максимально часовой подачи в регулируемую емкость, к среднечасовым расходам воды в сутки максимального водопотребления;

$K_{\text{ч}}$ – отношение максимального часового отбора воды к среднечасовым расходам воды в сутки максимального водопотребления.

$$W_{\text{НПЗ}} = 0,6(q_{\text{max}} + q_{\text{пож}}), \text{м}^3 \quad (9.3)$$

где q_{max} – расчетный расход на хоз.-питьевые и производственные нужды, л/с ;

$q_{\text{пож}}$ – расход воды на тушение одного наружного и одного внутреннего пожара, л/с ;

Высоту водонапорной башни (рис. 9.2) рассчитывают после гидравлического расчета сети и определения пьезометрических отметок во всех узлах сети

$$H_{\text{Б}} = Z_{\text{ДТ}} + H_{\text{ДТ}} + h_{\text{w}} - Z, \text{м} \quad (9.4)$$

где $Z_{\text{ДТ}}$ – отметка земли в диктующей точке, м;

$H_{\text{ДТ}}$ – свободный напор в диктующей точке, м;

h_{w} – потери напора по длине от башни до диктующей точки, м;

Z – отметка земли точки, в которой размещена башня, м.

Высота столба водонапорной башни определяется по формуле:

$$H_{\text{СТ}} = H_{\text{Б}} - h_{\text{НПЗ}}, \text{м} \quad (9.5)$$

где $h_{\text{НПЗ}}$ – высота неприкосновенного пожарного запаса, м.

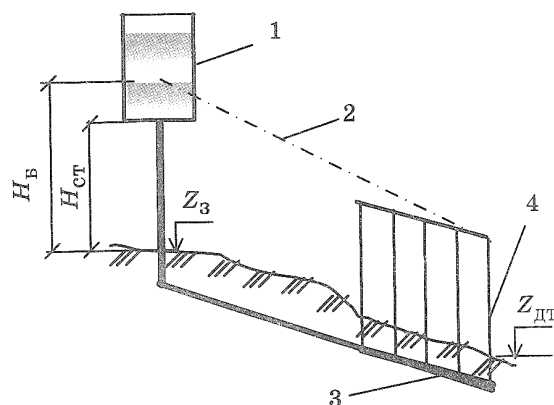


Рисунок 9.2 – Схема определения высоты водонапорной башни:
1 – башня; 2 – пьезометрическая линия при максимальном водопотреблении;
3 – водопроводная сеть; 4 – свободные напоры

9.2 Резервуары

Резервуары используют для хранения больших объемов воды. Резервуары могут быть углубленными в землю, полузаглубленными и наземными. При очистных станциях строят резервуары чистой воды (РЧВ), принципиальная схема которых изображена на рисунке 9.3

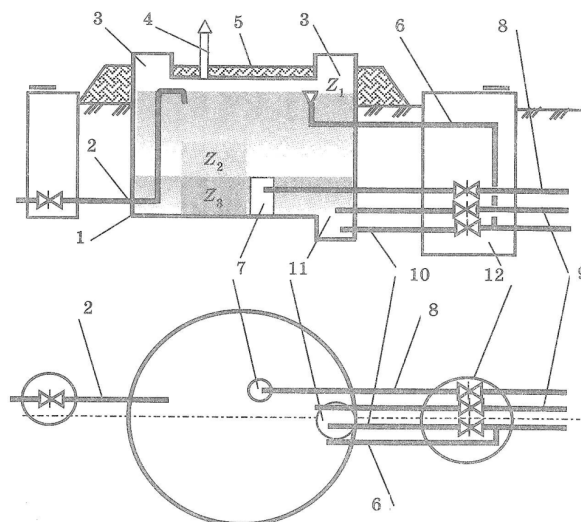


Рисунок 9.3 – РЧВ:

1 – корпус; 2 – подающий трубопровод; 3 – смотровые колодцы;
4 – вентиляционная труба; 5 – обвалование; 6 – переливная труба; 7 – колодец для обеспечения неприкосновенного пожарного запаса; 8 – трубопровод для забора воды на хозяйственно-питьевые нужды; 9 – трубопровод для забора воды на пожарные нужды; 10 – грязеотводная труба; 11 – приямок; 12 – камера переключений

В РЧВ объем воды между отметками Z_1 и Z_2 – регулирующий запас, а между Z_2 и Z_3 – пожарный. Максимальный уровень воды в РЧВ (Z_1), как правило, превышает отметку земли на 0,5 – 1 м, что обеспечивает возможность фильтрации из РЧВ в грунт, но не наоборот (во избежание загрязнения очищенной воды). Во избежание застаивания воды в РЧВ, следует

предусмотреть ее перемешивание.

Для обеспечения надежности работы резервуара необходимо как минимум два РЧВ, что даст возможность отключать на мойку, дезинфекцию и ремонт один из РЧВ. РЧВ могут быть разных размеров, но пожарный запас должен распределяться между ними поровну. Полная емкость резервуаров составляет

$$W = W_{\text{рег}} + W_{\text{СН}} + W_{\text{НПЗ}}, \text{ м}^3 \quad (9.6)$$

где $W_{\text{рег}}$ – регулирующий объем, определяется совмещением графика подачи воды в резервуар и графиком работы насосной станции, подающей воду в распределительную сеть;

$W_{\text{СН}}$ – объем воды на собственные нужды очистной станции (3 – 14 % от объема воды поданной потребителю);

$W_{\text{НПЗ}}$ – 3х часовой пожарный запас:

$$W_{\text{НПЗ}} = W_{\text{ч}} + 10,8(q_{\text{пож}} - q_{\text{НС-1}}) \quad (9.7)$$

$W_{\text{ч}}$ – объем воды, который потребляет населенный пункт за 3 смежных часа наибольших расходов, $q_{\text{пож}}$ – расход воды на гашение одного наружного и одного внутреннего пожара, л/с; $q_{\text{НС-1}}$ – подача НС-1, л/с.

9.3 Гидропневматические установки

Гидропневматические установки в системах водоснабжения выполняют ту же роль что и водонапорные башни. Необходимый напор в водопроводной сети обеспечивается давлением сжатого воздуха на водную поверхность в герметично закрытых стальных баках. Установки бывают переменного и постоянного давления.

Расчет таких установок выполняют на основе закона Бойля – Мариотта:

$$P_{\text{max}} W_{\text{возд}} = P_{\text{min}} (W_{\text{возд}} + W_{\text{вод}}) \quad (9.8)$$

где $P_{\text{max}} = (p_{\text{max}} + 0.1)$ МПа – абсолютное максимальное давление;

$P_{\text{min}} = (p_{\text{min}} + 0.1)$ МПа – абсолютное минимальное давление;

$W_{\text{возд}}$ – емкость воздушного бака;

$W_{\text{вод}}$ – емкость водяного бака.

Как правило, для таких установок принимают коэф. a (отношение минимального давления к максимальному) 0,6 – 0,75, тогда

$$W_{\text{возд}} = \frac{a}{1-a} W_{\text{вод}} \quad (9.9)$$

$$W_{\text{вод}} = Q_{\text{н}} / 4n \quad (9.10)$$

где $Q_{\text{н}}$ – подача насоса, м³/ч, при этом

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{сут}} K_{\text{сут.max}} / 24 \quad (9.11)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – среднесуточное водопотребление, $K_{\text{сут.max}}$ – коэф. суточной неравномерности.

Напор насосов, м, как правило, составляет

$$H_H = (p_{\max} - 0.1) \cdot 100. \quad (9.12)$$

Воздух может частично растворяться в воде или выходить через неплотные соединения, поэтому компрессор периодически пополняет им бак 2 (рис 9.4).

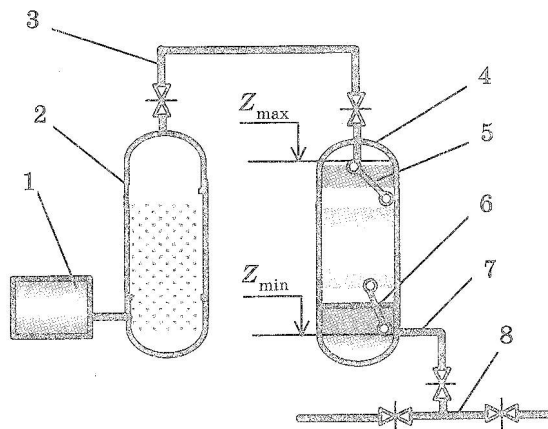


Рисунок 9.4 – Гидропневматическая установка:

- 1 – компрессор; 2 – бак для воздуха; 3 – соединительный трубопровод; 4 – бак для воды;
5 – воздушный клапан; 6 – водяной клапан; 7 – трубопровод для подачи воды;
8 – водопроводная сеть

В небольших или локальных водопроводах гидропневматические установки komponуют с насосными станциями над скважинами, поэтому их выполняют с одним баком, в котором объединены водяной (нижняя часть) и воздушный (верхняя часть) баки. Между ними устанавливают эластичную резиновую оболочку, которая препятствует непосредственному контакту воды и воздуха.

Контрольные вопросы:

1. Приведите характеристику запасных и регулирующих емкостей.
2. Опишите водонапорные башни, их типы и конструкции. Как определяется их высота и объем бака?
3. Какие бывают резервуары? Расскажите подробно о РЧВ.
4. Гидропневматические установки, их виды и принцип работы.

ТЕМА 10 Сооружения для транспортировки воды. Особенности гидравлического расчета открытых каналов

10.1 Транспортировка воды. Основные типы транспортирующих сооружений

Выбор метода транспортировки воды и соответственно типов транспортирующих сооружений зависит от характера естественного источника, степени его удаленности от объекта, местных топографических условий и

количества транспортируемого воды.

Все типы транспортирующих воду сооружений могут быть разделены на две основные группы:

- а) нагнетательные водоводы;
- б) гравитационные (или самотечные) водоводы и каналы.

В сооружениях первой группы подача воды осуществляется насосами. В сооружениях второй группы движение воды происходит под действием силы тяжести.

В некоторых случаях взаимное расположение источника и объекта водоснабжения, а также характер рельефа местности вызывают необходимость использования того или иного принципа подачи воды на отдельных участках трассы водовода.

По характеру движения воды (по характеру гидравлической работы) все транспортирующие воду сооружения могут быть разделены на напорные водоводы (работают полным сечением) и безнапорные водоводы (имеют свободную поверхность воды) (рис. 10.1).

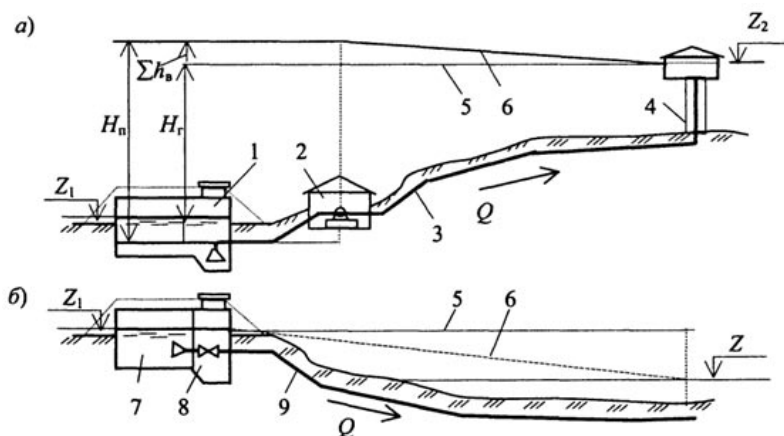


Рисунок 10.1 – Расчетные схемы водоводов:

- а – нагнетательного; б – самотечно-напорного: 1 – резервуар, снабжающий насос;
2 – насосная станция; 3 – напорный водовод; 4 – водонапорная башня; 5 – линия гидростатического напора; 6 – линия гидродинамического напора;
7 – подземный напорный резервуар; 8 – камера переключения;
9 – самотечно-напорный водовод

Безнапорные водоводы могут быть выполнены в виде открытых каналов вырытых в земле или закрытых каналов работающие неполным сечением.

Использование гравитационного метода подачи воды дает большие экономические преимущества, так как позволяет значительно снизить затраты на эксплуатацию системы водоснабжения. Очевидно, что применять этот метод транспортировки воды для водовода в целом можно лишь при условии, если отметка уровня воды водоема, используемого превышает отметку точки, в которую должна быть подана вода. Однако и при соблюдении этого условия наличие значительных повышений по трассе водовода может потребовать

подъема воды насосами для ее перекидывания через эти повышения.

Для схемы, где отметка уровня водоема значительно превышает отметку земли у объекта, гравитационная подача воды требует устройство очень длинных туннелей, что сильно удорожает строительство. Поднятие воды насосами в резервуар, установленный на наивысшей точке возвышенности, позволит избежать устройства туннелей. При таком решении на участке к повышению будут напорные водоводы, а после повышения до объекта – гравитационные водоводы. В ряде случаев удастся использовать гравитационный метод подачи воды на всей протяженности трассы водовода. При этом применение безнапорных каналов возможно только при относительно равномерном и незначительном уклоне местности в течение трассы водовода.

Выбор типа и конструкции безнапорного канала определяется экономическими соображениями и местными условиями, а также требованиями к качеству воды.

Открытые каналы представляют собой относительно дешевые (на единицу длины) сооружения для транспортировки большого количества воды.

Для подачи питьевой воды (чистой природной или очищенной) открытые каналы не должны применяться.

Закрытые безнапорные каналы являются более дорогими сооружениями, но потери воды в них значительно меньше и они защищают воду от загрязнения и развития растительности, обеспечивают почти постоянную температуру воды на всем пути ее подачи от источника к объекту.

При наличии достаточной для обеспечения движения воды разницы отметок в начальной и конечной точках водовода в условиях относительно пересеченного рельефа местности часто оказывается более рентабельным использование напорных гравитационных водоводов, т.е. водоводов работающих полным сечением. По условиям своей гидравлической работы эти водоводы аналогичны нагнетательным водоводам.

Так как напорные водоводы допускают практически любое изменение уклона по длине трассы, их использование часто позволяет значительно сократить общую длину водовода.

В современной практике водоснабжения местные природные источники воды часто оказываются недостаточными для удовлетворения потребностей крупных городов и промышленных предприятий (особенно в маловодных районах) и приходится использовать весьма удаленные источники, расположенные за десятки, а иногда и сотни километров от объектов, поэтому выбор наиболее экономичного варианта подачи воды приобретает важное значение. Этот выбор выполняется на основе тщательного изучения местных условий и технико-экономического сравнения различных вариантов.

При всех условиях транспортирующая воду сооружение должно обеспечивать надежность и бесперебойность снабжения объекта водой. Для этого необходимо, чтобы его конструкция сводила к минимуму опасность возникновения аварий. Длинные водоводы, как правило, прокладывают в одну линию. Поэтому в конце водовода должны быть устроены запасные емкости такого объема, который может обеспечить питание объекта водой во время ликвидации аварии или проведения ремонта.

При относительно малой длине водовода нужная надежность водообеспечения потребителей может быть достигнута с меньшими затратами путем строительства его из двух параллельно работающих линий (вместо устройства запасных емкостей). В ряде случаев наличие двух или нескольких параллельно работающих линий водовода является следствием постепенного развития системы водоснабжения в соответствии с ростом водопотребления объекта.

Для обеспечения водой промышленности и населенных пунктов центрального района Донбасса построен открытый водопроводный канал, который забирает воду из р. Северский Донец. Канал имеет длину 132 км и рассчитан на подачу расхода $25 \text{ м}^3/\text{с}$. Рельеф местности вызвал необходимость устройства на канале четырех насосных станций, которые поднимают воду на общую высоту около 250 м. Вода, которая забирается из канала для городских водопроводов, подлежит соответствующей очистке.

Развитие технологии производства напорных труб обусловило все более широкое применение напорных гравитационных водоводов. Подобные водоводы значительной протяженности использованы при строительстве большинства систем водоснабжения населенных пунктов в нашей стране и за рубежом.

10.2 Безнапорные водопроводные каналы

Открытые водопроводные каналы по своему устройству и методами расчета весьма близки к каналам оросительных систем.

Трассу канала выбирают на основе данных топографических и геологических исследований. Канал должен иметь по возможности равномерный уклон по всей длине. Величина уклона, которая непосредственно связана со скоростью движения воды в канале, лимитируется целым рядом условий. Очень малые уклоны и, соответственно, малые скорости приводят (при заданном расходе) к увеличению площади поперечного сечения канала и тем самым к увеличению его строительной стоимости. Кроме того, при малых скоростях может происходить заиливание и зарастание канала. Слишком большие уклоны могут вызвать рост скоростей до пределов, опасных в

отношении размыва канала.

Верхние пределы расчетной скорости движения воды в канале зависят от характера почв, в которых проходит канал, наличия и характера креплений стенок и дна канала. В каналах без облицовки расчетная скорость обычно близка к 0,6 – 0,7 м/с. В облицованных каналах скорость значительно выше и составляет 1,5 – 2 м/с и более.

Поперечное сечение канала чаще всего имеет трапецевидную форму; только иногда (в скальных грунтах) ему придают форму прямоугольника. Коэффициент откосов канала трапецевидного сечения зависит от характера грунта, а также от наличия и способа крепления откосов. Обычно коэффициент откосов принимают в пределах от 1,5 до 3.

Для того, чтобы выдержать заданный продольный уклон канала, его приходится прокладывать на отдельных участках в зависимости от рельефа местности в выемке, на нулевых отметках (с частичным обвалованием) или даже в насыпи.

Строить канал без облицовки его стенок и дна можно только в плотных слабопроницаемых почвах, где потери воды на фильтрацию относительно невелики.

Облицовки каналов устраиваются с целью снижения фильтрационных потерь, предупреждения их от размывания и оползания откосов, снижение шероховатости поверхности их стенок, а также предупреждения зарастания канала водной растительностью. В отдельных случаях облицовка может служить для защиты канала от поступления в него загрязненных грунтовых вод.

В водопроводных каналах применяют следующие виды облицовки: гравийные отсыпки, мощения, битумное покрытие, глинистые экраны, бетонные и железобетонные покрытия.

Два первых типа облицовки служат в основном для защиты откосов каналов от размыва и обрушения, другие – для борьбы с фильтрацией.

Для снижения стоимости строительства водопроводных открытых каналов их обычно устраивают в одну линию.

При строительстве канала и для обеспечения его нормальной эксплуатации на нем нужно устроить ряд сооружений.

Пересечение каналом низин, оврагов, рек, а также дорог осуществляется с помощью дюкеров, которые представляют собой напорные гравитационные водоводы из железобетонных или металлических труб. Их прокладывают в две параллельные линии (это увеличивает надежность работы). В оголовках дюкеров устанавливают устройства для исключения отдельных линий дюкеров при ремонте и прочистке, а в верхней камере устанавливают решетки.

В отдельных случаях переход канала через реки и овраги осуществляется в виде акведуков.

На канале через некоторое расстояние устанавливают сооружения, преграждающие канал и позволяют не только исключать отдельные участки его на ремонт (а также полностью закрывать канал), но и регулировать уровень воды в нем по мере необходимости (например, обеспечивать подпор в условиях зимнего режима).

Выше каждого сооружения должен быть устроен автоматически действующий водосброс для предупреждения вышележащих участков канала от переполнения.

В местах резкого изменения отметок местности по трассе канала устраивают перепады или быстротоки.

Очень часто, например при пересечении каналом водораздела, рельеф местности вызывает необходимость устройства канала в несколько уровней с местными подъемами воды насосами. Такой характер имеет, например, продольный профиль канала Северский Донец - Донбасс.

Насосные станции на каналах значительно отличаются от обычных водопроводных насосных станций. В ряде случаев эти станции должны поднимать очень большое количество воды на относительно малую высоту («Перевальные» станции). В них широко применяются осевые центробежные насосы.

Как уже было сказано, водопроводные каналы, особенно длинные, прокладывают обычно в одну линию с целью снижения их строительной стоимости. В этих условиях бесперебойное снабжение водой объекта может быть обеспечено только при наличии в конце канала резервных емкостей объемом, достаточным для удовлетворения потребностей объекта на время, необходимое для ремонта или ликвидации аварии на канале. В качестве такой емкости чаще всего используются водохранилища, образуются плотинами на реках и ручьях, которые пересекаются каналом. Во многих каналах значительная часть их общей длины приходится на водохранилища. Устройство водохранилищ на канале в ряде случаев позволяет намного уменьшить объем работ по строительству самого канала. Водоохранилища используются не только в качестве резервных емкостей, но одновременно и как отстойные бассейны, которые задерживают взвешенные вещества, содержащиеся в подаваемой воде.

Закрытые безнапорные каналы используют для подачи чистой природной или уже очищенной воды.

По конструкции и условиями гидравлической работы водопроводные закрытые каналы близкие к коллекторам канализации.

Ранее закрытые каналы почти всегда строили из кирпича, в настоящее

время их выполняют в основном из бетона или железобетона. Железобетонные каналы бетонируются на месте или монтируются из сборных элементов.

Форма поперечного сечения закрытых безнапорных каналов разная: чаще всего применяются каналы овоидальной, лотковой и круглой формы. В зарубежной практике очень распространена подковообразная форма поперечного сечения закрытых каналов. Форма сечения должна обеспечивать хорошие гидравлические характеристики канала и высокий его сопротивление давлению грунта на участках, где он проходит в земле.

Расчетный уровень наполнения каналов (отношение глубины потока воды к высоте канала) принимается в пределах от 0,75 до 0,9. Так как каналы не рассчитываются на напорный режим, то установленный уровень заполнения должен гарантировать невозможность образования в канале подпора.

На безнапорных закрытых каналах для перехода оврагов, рек и долин устраивают дюкеры и акведуки. Кроме того, эти каналы оборудуются сооружениями, преграждающими поток воды, и сооружениями для сброса воды с целью защиты канала от переполнения. При пересечении безнапорными закрытыми каналами возвышенностей широко применяются тоннели.

10.3 Напорные гравитационные водоводы

При сильно пересеченном рельефе местности использования безнапорных каналов (как открытых, так и закрытых) становится нецелесообразным. Обеспечение надлежащего постоянного уклона канала (соответствующего уклона свободной поверхности воды в канале) требует выполнения значительного объема земляных работ – количество сооружений в местах пересечения каналом долин, оврагов и возвышенностей (т.е. дюкеров, мостов, тоннелей) очень велико. Все это ведет к увеличению строительной стоимости канала.

В таких условиях экономически выгодно устраивать напорные гравитационные водоводы, которые, работая полным сечением, не требуют определенного уклона по длине канала.

Напорные гравитационные водоводы, подобно нагнетательным, укладывают на определенной глубине от поверхности земли, следуя изменению рельефа местности. Эти водоводы позволяют уменьшить не только объем земляных работ, но часто и общую длину трассы. Однако условия их работы под напором требуют применения для них напорных труб.

В большинстве случаев в современных системах водоснабжения напорные гравитационные водоводы больших диаметров выполняют из железобетонных труб, в том числе предварительно напряженных. Эти трубы позволяют обеспечить сопротивление водовода значительным внутренним

давлениям и одновременно его герметичность.

Чтобы избежать больших рабочих давлений в гравитационных водоводах и тем самым уменьшить толщину стенки и стоимость труб, напорные гравитационные водоводы часто разбивают на отдельные участки, устанавливая на возвышенностях специальные (разгрузочных) резервуары. Кроме того, резервуары, располагаемые по длине водовода, могут служить запасными емкостями, которые используются во время ликвидации аварий или ремонта вышележащих участков водовода. На водоводах большой протяженности эти резервуары позволяют организовать автоматическое регулирование подачи воды водопроводом в соответствии с графиком расхода воды потребителями.

При значительных падениях отметок местности на отдельных участках напорных гравитационных водоводов с успехом используют избыточную гидравлическую энергию путем устройства гидроэлектростанций.

10.4 Особенности гидравлического расчета открытых каналов

Главными характеристиками канала является форма и размер его живого (поперечного) сечения потока. Форма каналов может быть разнообразной. Часто применяются каналы трапецеидального и полигонального очертания. Также сечение может быть прямоугольным, полукруглым, параболическим, очерченным более сложной кривой или составным (рис. 10.2).



Рисунок 10.2 – Формы поперечного сечения каналов

Заложение откоса канала m , равное: $m = \operatorname{ctg} \alpha = a/h$ (10.1), зависит от грунта, в котором проходит канал. Если для скальных грунтов заложение откоса приближается к нулю, то, например, для пылеватых песков оно может достигать 3–3,5. Укрепление откосов позволяет назначать заложение требуемой величины.

В отличие от естественных русел существует возможность придать сечению канала гидравлически наиболее выгодное сечение (то есть подобрать соответствующие величины ширины канала по дну и глубины потока). При таком сечении при заданной шероховатости русла обеспечивается максимальная пропускная способность при минимальной площади сечения. Однако для диапазона наиболее распространенных заложений откосов получается, что такие каналы имеют большую глубину и малую ширину по дну, что часто нецелесообразно по технологии устройства и стоимости работ. В придачу к этому происходит увеличение размывающей скорости потока. Поэтому ширину каналов по дну увеличивают по сравнению с гидравлически

наивыгоднейшей.

В общем случае небольшие каналы рассчитываются в предположении равномерного движения воды. Для определения скорости и расхода используют формулы Шези:

$$V = C\sqrt{R \cdot I} \quad (10.2) \quad \text{и} \quad Q = \omega C\sqrt{R \cdot I} \quad (10.3),$$

где V – средняя скорость потока, м/с;

C – коэффициент сопротивления трения по длине (коэффициент Шези), м^{0,5}/с, являющийся интегральной характеристикой сил сопротивления;

R – гидравлический радиус, м;

I – гидравлический уклон, который при равномерном движении потока со свободной поверхностью равен уклону дна и свободной поверхности.

ω – площадь живого сечения, м².

Коэффициент сопротивления C может быть определён по формуле Н. Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (10.4)$$

где n – коэффициент шероховатости, характеризующий состояние поверхности русла, для случая канализационных труб принимается в диапазоне (0,012...0,015);

y – показатель степени, зависящий от величины коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1) \quad (10.5)$$

Эта формула рекомендуется для значений $R < (3...5)$ м. При больших гидравлических радиусах или других значениях коэффициентов шероховатости применение формулы Н. Н. Павловского в гидравлических расчётах речных русел приводит к значительным ошибкам.

Расход воды в канале определяется водохозяйственными расчётами. Задача сводится к определению сечения канала и его размеров при сравнительно узком диапазоне возможной скорости потока. Узость диапазона скорости диктуется тем, что русло с одной стороны не должно размываться, а с другой – не должно заиливаться. Расчёт предельных скоростей по заилению и размыванию является сложной задачей и решается приближёнными методами. Для большинства материалов размывающие скорости определены и приводятся в соответствующих таблицах в зависимости от глубины потока.

Многие крупные каналы по своей сути представляют собой искусственные реки.

Потери воды из каналов обусловлены как её испарением с поверхности открытых каналов, так и её фильтрацией через стенки и дно русла (рис. 10.3). При этом потери на испарение в большинстве случаев весьма малы, тогда как

потери на фильтрацию могут достигать очень больших величин, заметно снижающих экономическую эффективность канала. Вдобавок к этому обводнение близлежащего грунта может привести к заболачиванию местности, при просадочных грунтах – к деформациям канала и разрушению сооружений, в горных условиях – к опасным обрушениям и селям.



Рисунок 10.3 – Виды фильтрации:

1 – начальный уровень грунтовых вод; 2 – граница растекания; 3 – фронт движения зоны промачивания; 4 – капельный поток

Различают две стадии фильтрации: свободную и с подпором. При несвободной фильтрации с подпором фильтрационный поток из канала соприкасается с грунтовым потоком и подпирается им.

Бороться с фильтрацией можно как устройством облицовки дна и русла, так и снижением водопроницаемости грунта русла, что можно достичь механическим уплотнением и *кольматажем* – заполнением пор грунта мелкими частицами, например, для песчаных грунтов может применяться их кольматаж глинистыми и илистыми грунтами.

Контрольные вопросы:

1. Нагнетательные водоводы.
2. Самоотечные водоводы.
3. Каналы.
4. Особенности гидравлического расчета открытых каналов.
5. Потери воды из каналов.

ТЕМА 11 Особенности обустройства дворовой и внутриквартальной сети. Принципы технико-экономического расчета водопроводной сети

11.1 Особенности обустройства дворовой и внутриквартальной сети

В жилых районах и микрорайонах прокладывается объединенная сеть хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода.

Трассировка водопроводной сети микрорайона определяется в зависимости:

- от характера объектов, планирования, этажности и размещения отдельных домов, расположения внутриквартальных проездов, наличия и размещения зеленых насаждений и т.п.;

- от наличия и диаметра магистральных линий сети городского водопровода.

При застройке по «красной линии» дома присоединяются к магистральным линиям водопроводной сети, прокладываемые уличными проездами (рис. 11.1). Присоединение вводов к магистральным трубопроводам больших диаметров ($D > 400$ мм) не допускается. В этом случае питание вводов потребителей осуществляется из сопутствующих распределительных трубопроводов $D = 150\text{--}300$ мм.

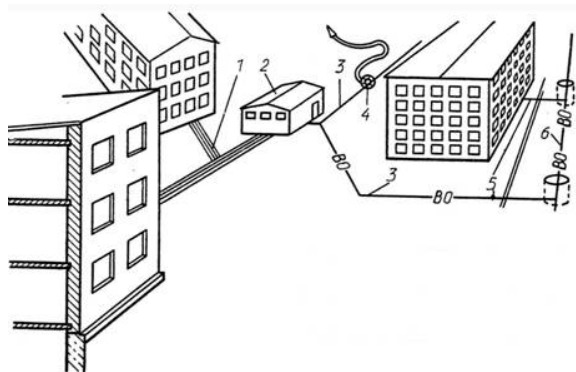


Рисунок 11.1 – Микрорайонное водоснабжение:

- 1 – внутриквартальная сеть; 2 – центральный тепловой пункт; 3 – ввод городской магистральной сети; 4 – колодец с гидрантом;
5 – индивидуальный ввод; 6 – уличная распределительная сеть

При свободной планировке жилых районов питания водой домов осуществляется с внутриквартальной водопроводной сети. Водомерный узел и насосы для повышения напора располагаются в доме центрального теплового пункта (ЦТП).

При значительных размерах кварталов микрорайонная сеть обеспечивает и пожарные нужды, поэтому на ней размещаются пожарные гидранты на расстоянии не более 100–150 м друг от друга.

На рисунке 11.2 показана укладка инженерных сетей в одной траншее.

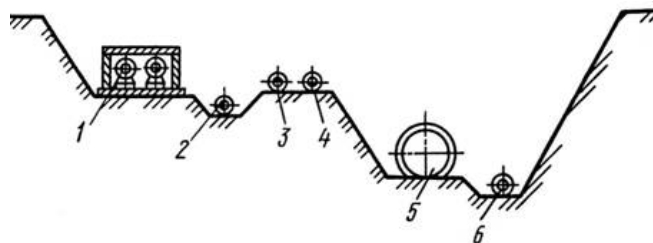


Рисунок 11.2 – Укладка инженерных сетей в одной траншее:

- 1 – теплосеть; 2 – водопровод; 3 – газопровод;
4 – газопровод низкого давления; 5 – водосток; 6 – канализация

Внутриквартальные сети водопровода прокладывают от колодца до самого отдаленного жилого дома проездами, параллельно домам, на

расстоянии не менее 5 м от них. Для уменьшения строительной стоимости допускается прокладка водопровода в подвалах жилых домов с транзитной трассировкой трубопроводов.

Водозабор, как правило, осуществляется из ближайшего к дому водоразборного колодца. Отвод от уличной сети обязательно должен иметь запорный вентиль (рис. 11.3).

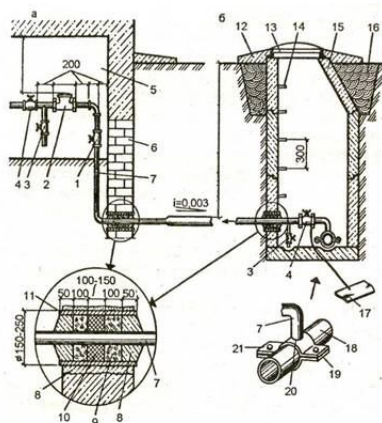


Рисунок 11.3 – Устройство водопроводного ввода и водозаборного колодца:

а – ввод через фундамент; б – водоразборное колодец;

- 1 – входной вентиль; 2 – водомер; 3 – сливной кран; 4 – перекрывающий вентиль;
 5 – полуподвал (подвал); 6 – фундамент; 7 – трубопровод ввода; 8 – цементный раствор;
 9 – смоляная пряжа; 10 – мягкая глина; 11 – футляр (чугунная или керамическая труба);
 12 – отмотка; 13 – люк; 14 – ходовые скобы; 15 – фасонное бетонное кольцо; 16 –
 глиняный замок; 17 – заземление; 18 – труба уличного водопровода; 19 – резиновая
 прокладка; 20 – сварка; 21 – хомут

Рядом с вентилем (со стороны дворовой сети) устанавливают сливной патрубок с краном для слива воды из дворовой сети водопровода. Для дворовой водопроводной сети пригодны стальные оцинкованные трубы диаметром 25–50 мм или чугунные напорные трубы. При этом следует иметь в виду, что использование в системе питьевого водоснабжения черных труб (даже небольшого куска, длиной 2–3 м) недопустимо, так как это приводит к появлению в воде ржавого осадка. Диаметр ввода труб дворовой сети ориентировочно можно подобрать исходя из следующего простого расчета: при наличии 1–2 кранов – 15 мм, 3–6 кранов – 20 мм, 7–8 кранов – 25 мм, этот же диаметр учитывается при подборе водомеров холодной воды УВК-15, УВК-20 и т.д. (цифра означает диаметр присоединительных штуцеров, мм). Выпускаются также водомеры ВКМ-3, ВКМ-5, ВКМ-10 соответственно для труб диаметром 15, 20 и 32 мм.

Дворовую часть трубопровода укладывают с уклоном не менее 0,003 в сторону уличной сети (водоразборного колодца) для обеспечения гарантированного слива воды из трубопроводов (на зиму, для ремонта и т.п.).

Глубина заложения водопроводной сети должна быть на 0,5 м больше глубины промерзания грунта считая от низа трубы. Минимальная глубина укладки водопровода для южных районов составляет 0,5 м, чтобы вода летом не нагревалась. Но поскольку речь идет о присоединении к уличной водопроводной сети, то глубина ее заложения и будет в этом случае ориентиром для определения глубины траншеи.

Перед укладкой труб в траншею их гидроизолируют на всю длину, концы закрывают заглушками (завязывают пленкой) и последовательно затаскивают через наиболее подходящий колодец или начало траншеи. Затем в колодцах трубы соединяют муфтами, а места стыков тщательно гидроизолируют. Схема прокладки дворового водопровода приведена на рисунке 11.4.

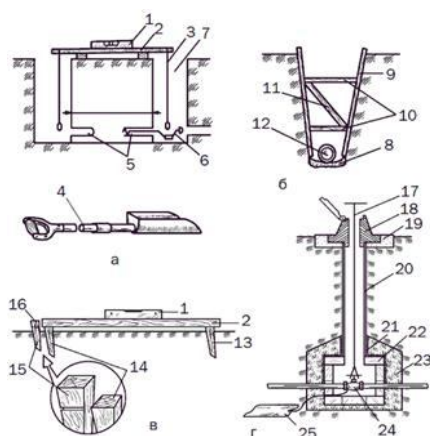


Рисунок 11.4 – Прокладка дворового водопровода:

- а – методом прокола; б – профиль траншеи с распорками; в – схема нивелирования дна траншеи; г – устройство трубчатого водораспределительного колодца; 1 – строительный уровень; 2 – планка; 3 – отвес; 4 – совковая лопата;
- 5 – прокол; 6 – шнековый бур; 7 – колодец; 8 – песчаное отсыпки; 9 – боковые доски; 10 – распорки; 11 – подкос; 12 – труба; 13 – нулевой кольшек;
- 14 – рабочий кольшек; 15 – контрольный кольшек; 16 – контрольная отметка; 17 – вороток; 18 – чугунный люк; 19 – отмотка с подготовкой; 20 – асбесто-цементная труба; 21 – гидроизоляция; 22 – кирпичная кладка; 23 – глиняный замок; 24 – вентиль 25 – заземление

При сплошной траншее всю нить дворового трубопровода собирают на поверхности, гидроизолируют и аккуратно опускают на дно траншеи. Дно траншеи должно быть ровным, чтобы трубы плотно и без прогибов легли на него. Под стыками труб для удобства монтажа выкапывают прямки.

В процессе всего цикла работ с трубами их открытые концы закрывают деревянными пробками или полиэтиленовой пленкой, закрученной мягкой проволокой.

После того как труба уложена на дно траншеи и присоединена к уличной

сети, ее засыпают почвой слоем 25–30 см, оставляя стыки незасыпанными. Затем проверяют дворовую сеть на герметичность под давлением, отключив ввод в дом заглушкой (перед водомером).

После гидравлических испытаний трубы окончательно засыпают слоями по 0,3–0,4 м с тщательным уплотнением. Свежезасыпанная траншея дает заметные осадки, поэтому в течение ближайших 2–3 лет надо избегать устройства в этой зоне дорожек, подпорных стенок, цокольных заборов и подобных сооружений.

Если возникает необходимость устроить разветвление дворовой сети на 2–3 потребителей, можно не устраивать распределительный колодец. Для этого достаточно на каждом ответвлении поставить по вентилю поместив его в нишу, которая соединена с поверхностью земли чугунной трубой диаметром 100-150 мм.

11.2 Принципы технико-экономического расчета водопроводных сетей

Технико-экономические расчеты проводят с целью определения наиболее оптимальных конструктивных и технологических параметров систем водоснабжения, по которым вся система является наиболее экономически выгодной. В зависимости от поставленных задач на разных этапах проектирования определяют как отдельные параметры (диаметры труб, напоры насосов и т.п.), так и схему системы водоснабжения населенного пункта. Это касается, в частности, зонирование и районирование системы водоснабжения, целесообразности устройства башен, станций подкачки, гидропневмоустановок т.д.

11.2.1 Принципы технико-экономического расчета систем подачи и распределения воды

Предварительное распределение потоков воды в водопроводной сети является первым этапом технико-экономического и гидравлического расчетов систем подачи и распределения воды. На его основе определяют диаметры труб участков сети и потери напора в сети, которые нужны для расчетов высот водонапорных башен и необходимых напоров насосов, питающих водопроводную сеть.

Предварительное потокораспределение проводят отдельно для каждого расчетного случая на основе:

- расчетной схемы водопроводной сети или всей системы водоснабжения;
- узловых расходов воды;
- расчетных расходов воды, подаваемых в водопроводную сеть от насосных станций, башен или резервуаров.

Расчетную схему водопроводной сети принимают такой же, как и для определения узловых отборов. Однако, расположение водопотребителей на ней не отображаются.

Узловые отборы воды наносят на расчетную схему для каждого узла. Там же показывают расхода воды, подаваемых в водопроводную сеть. Расходы, отбираются из сети изображают стрелкой от узла, а расходы, которые подаются в сеть – стрелкой к узлу (рис. 11.6).

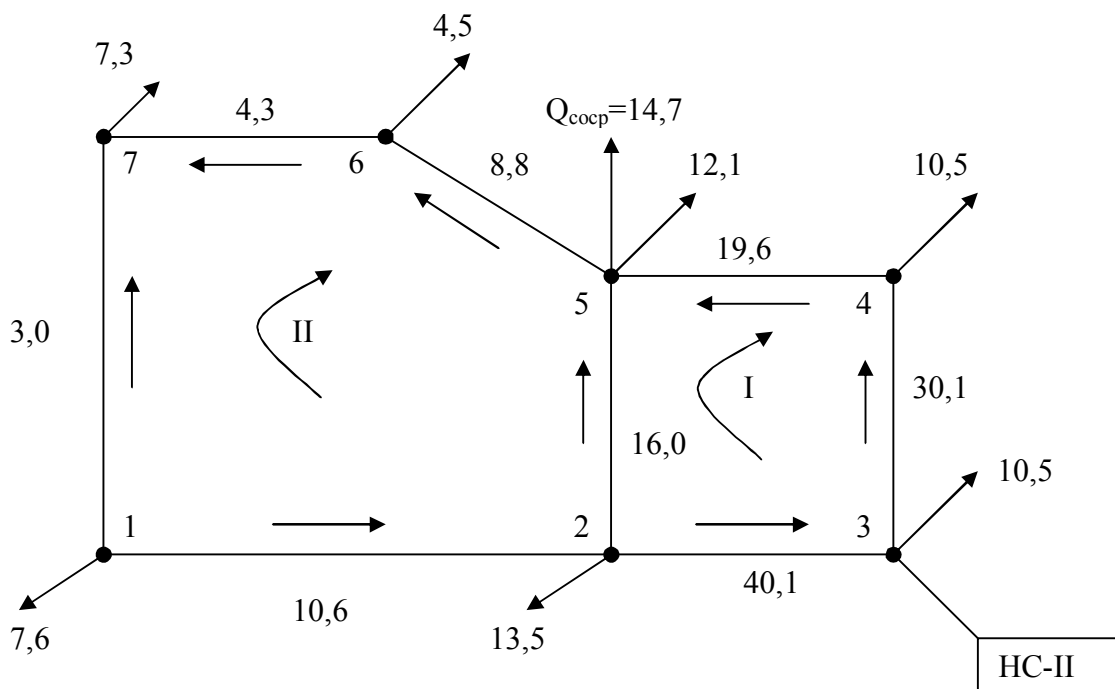


Рисунок 11.6 – Предварительное распределение потоков воды

Расчетные расходы воды, подаваемых в водопроводную сеть определяют на основе графиков подачи насосных станций в зависимости от принятой схемы питания водопроводной сети. При отсутствии таких графиков подача воды в водопроводную сеть коммунальных водопроводов может быть принята равной:

- для любых расчетных случаев безбашенных систем водоснабжения – величине суммарного расчетного водопотребления;
- для случая пожаротушения любых систем водоснабжения – величине суммарного расчетного водопотребления при пожаротушении;
- для случая максимального водопотребления с проходной башней – величине суммарного расчетного водопотребления;
- для случая максимального водопотребления и транзита воды в башню с контррезервуаром – величине, которая определяется по формулам:

$$q_{\text{нс}} = \frac{q_{\text{розр.макс.}} + q_{\text{ср}}}{2}, \quad (11.1)$$

$$q_{\text{БВмакс}} = q_{\text{розр.макс.}} - q_{\text{НС}}, \quad (11.2)$$

$$q_{\text{БВтранз}} = q_{\text{НС}} - q_{\text{розр.тр.}}, \quad (11.3)$$

где, $q_{\text{нс}}$ – подача воды в сеть от насосной станции;

q_{cp} – средняя подача воды в сеть за расчетный период (сутки максимального водопотребления);

$q_{ВВ \text{ макс}}, q_{ВВ \text{ тр.}}$ – подача воды в сеть от водонапорной башни для случаев максимального водопотребления и транзита.

Основным условием проведения предварительного потокораспределения в любом случае является выполнение аналога первого правила Кирхгофа: алгебраическая сумма расходов воды для каждого узла сети, как и для сети в целом, должна равняться нулю.

С целью взаимозаменяемости участков кольцевых водопроводных сетей для обеспечения требований надежности при проведении технико-экономических расчетов следует руководствоваться следующими дополнительными рекомендациями:

- в направлениях движения воды от источников питания по основным магистралям и в целях их взаимозаменяемости направляют примерно одинаковые расхода воды;
- к основным потребителям воду нужно подавать кратчайшим путем, но не менее чем по двум направлениям.

11.2.2 Определение экономически выгодных диаметров труб напорных водоводов

При проектировании возникает проблема выбора диаметра трубопровода. Теоретически через трубу любого диаметра можно пропустить любую расход, однако при пропуске заданного расхода через трубопроводы малого диаметра в них выходят большие скорости и большие потери напора. Поскольку движение жидкости в напорных трубопроводах, как правило, турбулентное, то потери напора пропорциональны V^2 . При большом диаметре трубопровода скорости будут небольшими, следовательно, потери тоже будут небольшими.

Экономически выгодным считают такие диаметры трубопроводов систем водоснабжения, при которых дисконтированные затраты на строительство и эксплуатацию всего комплекса связанных между собой сооружений (насосные станции, водоводы, водопроводные сети, напорно-регулирующие сооружения) минимальны. Кроме того, трубопроводы должны иметь достаточную пропускную способность и прочность. Поэтому, на подготовительных этапах определения экономически выгодных диаметров труб проводят следующие работы:

- определяют материал и класс труб;
- выполняют потокораспределение для всех расчетных случаев;
- уточняют «экономическую» базу данных: стоимость электроэнергии, трубопроводов, кредитные ставки, срок реализации проекта и т.п.

Любой водопровод состоит из трубопровода и насосной станции.

Поэтому в зависимости от диаметра трубопровода будет определяться стоимость строительства, то есть стоимость самого трубопровода и насосной станции. Чем меньше диаметр трубопровода, тем меньше его стоимость, но будет больше стоимость насосной станции и выше эксплуатационные расходы. Задаваясь различными диаметрами трубопровода, можно рассчитать ежегодные расходы по трубопроводу, ежегодные расходы по насосной станции, суммарные ежегодные расходы. Эти данные отображаются графически (рис. 11.7).

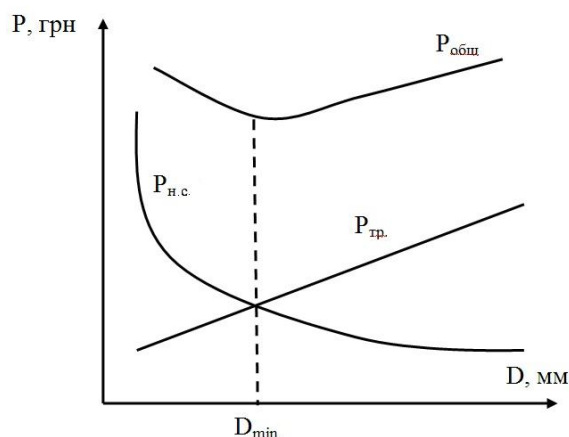


Рисунок 11.7 – Суммарные ежегодные расходы

Кривая $P_{\text{общ}}$ имеет минимальный диаметр, при котором общие расходы минимальны. Это и будет экономически выгодный диаметр трубопровода.

В общем случае этот размер не соответствует размерам труб по ГОСТ, поэтому принимают ближайший размер. С точки зрения экономии металла целесообразно выбирать ближайший меньший диаметр, скорости которые ему соответствуют – экономические.

Контрольные вопросы:

1. Трассировка водопроводной сети микрорайона.
2. Дворовые водопроводные сети.
3. Технико-экономический расчет водопроводной сети.
4. Определение экономически выгодных диаметров трубопроводов.

ТЕМА 12 Достижения науки и техники в области развития, проектирования и обустройства водопроводных сетей

Современные системы водоснабжения городов и промышленных предприятий представляют собой сложные технические системы, которые обеспечивают прием, очистку и подачу воды потребителям. Наиболее распространенные многофункциональные системы водоснабжения, предназначенные для питьевого, бытового, хозяйственного, производственного и пожарного водоснабжения.

Насосы и насосные станции являются важнейшими элементами современных систем водоснабжения. Технические показатели насосных

станций во многом определяют надежность и экономическую эффективность подачи воды. В то же время насосные станции являются основными потребителями энергии в системах водоснабжения. Поэтому от того, насколько рационально они запроектированы и эксплуатируются зависит удельное потребление энергии на подачу воды.

В настоящее время существует методов проектирования систем водоснабжения: графический, модельно-макетный и макетно-графический.

Графический метод проектирования и наладки водопроводных сетей основан на условном изображении предметов и пространства на определенной плоскости. Суть данного метода проектирования, заключается в том, что детальная техническая разработка проекта, сопровождается для передачи строительной компании графическим изложением, то есть эскизом, чертежами, графиками, таблицами, схемами и т.д.

В основе модельно-макетного метода лежит компоновка элементов сооружения и различных объемных моделей в пространстве, то есть это не что иное, как объемно-пространственное моделирование. Такой метод чаще всего используют при проектировании наиболее сложных систем водоснабжения. При большой насыщенности водопровода трубами, применяется масштабирование 1:10, а при проектировании одностадийном – 1:25 или 1:50.

Модельно-графический метод соответствует всем требованиям проектирования систем водоснабжения наиболее полно, поскольку наиболее точно позволяет представить масштабное моделирование всего комплекса в пространстве, с возможностью рассмотрения каждой детали.

Все графические материалы обязательно должны включать генеральный план объекта и окрестностей, а также оптимальные варианты решения водопроводных схем, с указанием размещения основных зданий и сооружений с подробными чертежами.

Методы объемного проектирования на сегодняшний день считаются наиболее точными, поскольку опыт их использования наглядно доказал, что при таком подходе не только значительно улучшается качество самого проекта, но также значительно снижается стоимость самого проектирования. А главным преимуществом объемного проектирования, является его наглядность, исключение ошибок и значительное улучшение организации монтажно-строительных работ.

Проектирование систем водоснабжения это целый комплекс работ, который включает планирование водопроводной сети, ее подключение к объектам водозабора и системам водоочистки, осуществляемый с целью обеспечения эффективного снабжения объекта водой.

На современном этапе развития науки и технологий постоянно

внедряются новые методы реконструкции трубопроводных, а также передовое оборудование и технологии, которые разрабатываются в Украине и за рубежом. При этом используется дифференцированный подход в выборе метода замены старых трубопроводов, в котором предпочтение отдается современным бестраншейным технологиям. Это позволяет, на основе системного подхода, снизить на 30% количество повреждений водопроводной сети.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют методы проектирования водопроводных сетей?
2. Назовите методы реконструкции водопроводных сетей.
3. Особенности применения методов бестраншейных технологий при санации трубопроводов.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-74; 2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 280 с.
2. Тугай А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Київ : Знання, 2009. – 735 с.
3. Абрамов Н. Н. Водоснабжение : учебник для вузов / Н. Н. Абрамов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1974. – 480 с.
4. Ткачук О. А. Міські інженерні мережі : навч. посібник / О. А. Ткачук. – Рівне : НУВГП, 2015. – 412 с.
5. Водоснабжение / А. Я. Найманов, С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина и др. – Донецк : Норд-Пресс, 2004. – 649 с.
6. Сомов М. А. Водоснабжение : учебник / М. А. Сомов, Л. А. Квитка. – М. : ИНФРА-М, 2008. – 287 с.

Навчальне видання

ДУШКІН Станіслав Сергійович

Конспект лекцій
з дисципліни

«ВОДОПРОВІДНІ СИСТЕМИ І СПОРУДИ»

*(для студентів 2 та 3 курсів денної та заочної форм навчання напряму
підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси))*

(Рос. мовою)

Відповідальний за випуск *В. О. Ткачов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *С. С. Душкіна*

План 2017, поз. 84 Л

Підп. до друку 13.02.2017 р.
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 5,4
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.